

정지중 및 운전중 고압전동기 고정자 권선의 절연열화 특성

김희동, 이영준, 주영호
한전 전력연구원

Insulation Aging Properties of Off-Line and On-Line High Voltage Motor Stator

Hee-Dong Kim, Young-Jun Lee and Young-Ho Ju
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - Partial discharge(PD) tests are used to evaluate the insulation condition of stator windings in six 6.6kV motors. These tests were conducted using a conventional partial discharge detector (PDD), turbine generator analyzer(TGA) and partial discharge analyzer(PDA). Off-line PD measurements were performed on six 6.6kV motors. PD magnitudes ranged from 740 pC to 5,100 pC at the normal line-to-ground voltage. Six 6.6kV motors have been equipped with eighteen 80pF epoxy-mica couplers(one per phase) on the motor terminal boxes. The PD pulse from sensors were measured with the TGA and PDA instruments on a normally operating motors. The PDD, TGA and PDA test results showed that internal discharge was detected in voids of the groundwall insulation.

2. 시험방법

본 논문은 정격전압이 6.6kV급 6대의 고압전동기 고정자 권선에서 정지중과 운전중 부분방전 시험을 수행하였다. 표 1은 6대의 고압전동기 정격을 나타냈으며, 정지중에 고정자 권선의 부분방전 시험을 위해 셰링브리지(Schering Bridge), 커플링 캐패시터(coupling capacitor) 및 부분방전 측정기(partial discharge detector : PDD, Tettex Instruments TE 571)를 사용하였다. 셰링브리지는 전원장치(HV supply, Type 5283), 브리지(Bridge, Type 2818) 및 공진 인덕터(resonating inductor, Type 5285)로 구성되어 있다. 그림 1은 고압전동기 고정자 권선에서 부분방전을 측정하기 위한 회로도를 나타냈다. 고압전동기 고정자 권선에 셰링브리지(Tettex Instruments)를 연결하여 교류전압을 인가하며, 커플링 캐패시터(Tettex Instruments, 4,000pF)는 권선에서 유입되는 신호를 커플링 유닛(coupling unit, Tettex Instruments AKV 572)에 보내어 증폭한 후 부분방전 측정기에서 방전크기 및 패턴을 측정하였다. 부분방전 측정기의 주파수 대역폭은 40~400kHz 이다.

1. 서 론

고압전동기 고정자 권선 결함은 제작시에 존재하거나 장기간 운전되는 동안에 열적, 전기적, 기계적 및 환경적인 열화에 의해 복합적으로 형성되며, 결함 위치에 따라 내부방전, 슬롯방전, 표면방전 및 트리잉방전 등 여러 가지 부분방전 패턴이 발생한다[1]. 이러한 부분방전 패턴을 고압전동기 정지중(off-line)과 운전중(on-line)에 측정하여 절연재료에서 열화정도를 판정하고 있다.

그러나 정지중과 운전중에 부분방전을 측정하는 장비가 서로 다르지만 부분방전 패턴은 상호 일치성을 갖고 있다[2]. 고압전동기 고정자 권선 단자박스에 에폭시-마이크 커플러(epoxy-mica coupler)를 설치하고 PDA(partial discharge analyzer)와 TGA(turbine generator analyzer)를 사용하여 운전중에 부분방전을 측정하고 있다[3, 4]. PDA와 TGA는 고정자 권선에서 전체적인 방전활동을 파악하기 위해 NQN(normalized quantity number)과 부분방전 크기(mV)를 주로 측정하여 트렌드를 분석함으로써 이상여부를 파악하고 있다.

본 논문에서는 6대의 고압전동기 고정자 권선에서 정지중과 운전중에 부분방전을 측정하여 절연열화 정도를 분석하였다. 정지중에는 부분방전 측정기를 이용하여 부분방전 크기와 패턴을 측정하였다. 운전중에는 고압전동기 단자박스에 에폭시-마이크 커플러를 설치하고 TGA와 PDA를 사용하여 NQN, 부분방전 크기 및 패턴을 분석하였다. 그리고 정지중과 운전중에 부분방전 패턴을 측정하여 분석한 결과 상호 일치성을 확인하였다.

표 1. 고압전동기의 정격

고압전동기	A~E	F
정격용량[kW]	448	450
정격전압[kV]	6.6	6.6
정격전류[A]	54	38.8
회전수[rpm]	882	1189
절연등급	F	F
제작사	국산	외산

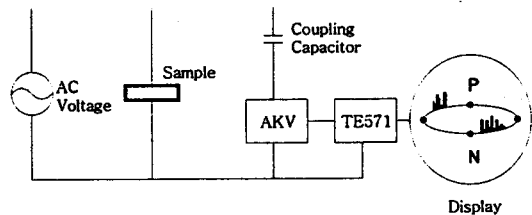


그림 1. 부분방전의 측정 회로도

6대의 고압전동기 고정자 권선에서 운전중에 부분방전을 측정하기 위해 단자박스에 상별로 한 개씩 총

18개의 80pF 에폭시-마이카 커패시터(epoxy-mica couplers, IRIS Power Engineering INC.)를 설치하였다. 이들 센서로부터 운전중에 고압전동기 고정자 권선에서 상별로 PDA(partial discharge analyzer, FES International Co.)와 TGA(turbine generator analyzer, IRIS Power Engineering INC.)를 사용하여 NQN, 부분방전 크기 및 패턴을 측정하여 절연상태를 분석하였다. 그리고 PDA와 TGA의 주파수 대역폭은 각각 1~150MHz, 20~800MHz 이다.

3. 시험결과 및 고찰

3.1 정지중 부분방전 분석

6대의 고압전동기 고정자 권선에서 정지중에 상전압(3.81kV)과 상전압의 1.25배(4.76kV)까지 전압을 증가하면서 부분방전을 측정하였다. 표 2는 각각 3.81kV와 4.76kV까지 전압을 인가하면서 부분방전 크기와 패턴을 측정하여 나타냈다. 부분방전 측정시 계통잡음은 100pC~980pC이며, 부분방전 개시전압은 2.2kV~5.0kV로 나타났다. 또한 부분방전 크기는 3.81kV에서는 740pC~5,100pC이며, 4.76kV에서 800pC~7,200pC로 증가하였다. 그림 2에서 나타난 바와 같이 부분방전 패턴은 6대의 고압전동기 모두 내부방전(internal discharge)으로 판정되었다. 이는 10~20년 이상 장기간 사용으로 인해 고압전동기 고정자 권선에서 초기 열화가 발생하여 주절연재료 내부에 약간의 보이드(void)가 생성되었으나 전체적인 절연상태는 양호하게 분석되었다. 부분방전 크기는 고압전동기 E가 가장 낮고 F에서 가장 높게 나타났다.

표 2. 정지중 고압전동기의 부분방전 크기 및 패턴

고압 전동기	외부잡음 [pC]	방전개시전압 [kV]	방전크기[pC]		방전패턴
			3.81kV	4.76kV	
A	950	3.6	1,200	1,300	내부방전
B	980	5.0	980	980	내부방전
C	800	4.0	890	1,800	내부방전
D	100	4.5	800	1,400	내부방전
E	700	4.9	740	800	내부방전
F	970	2.2	5,100	7,200	내부방전

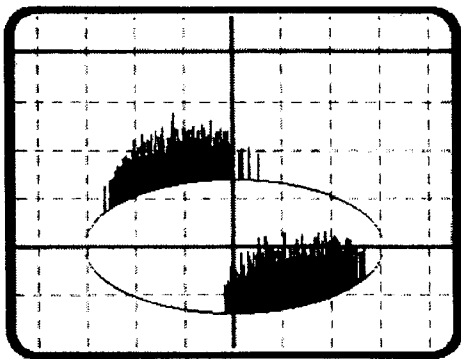


그림 2. 내부방전

특히 고압전동기 F는 베어링 소손으로 인해 다른 전동기로 교체후에 회전자를 인출한 결과 분진 유입으로 인해 슬롯 상부에서 탄화 흔적을 볼 수 있었으며, 베어링 오일 유입으로 인해 단말권선(endwinding)이 부분적으로 오손되었으나 슬롯과 거리가 멀어 표면방전은 나타나지 않았다. 따라서 고압전동기 F에서 부분방전 크기가 가장 크게 나타난 것은 슬롯 상부에서 탄화 흔적으로 사료되며, 일반적으로 고정자 권선 표면의 반도체층이 손상되어 슬롯과 권선 사이에 틈이 발생되면 슬롯방전이 나타난다[1].

3.2 운전중 TGA 및 PDA 분석

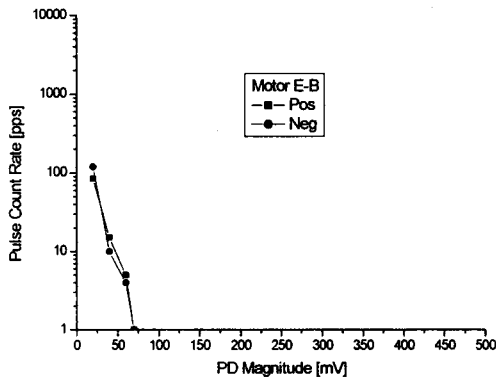
6대의 고압전동기 고정자 권선의 운전중 부분방전을 측정하기 위해 TGA와 PDA를 사용하여 NQN, 부분방전 크기 및 패턴 등을 측정하여 절연열화 상태를 분석하였다. 표 3은 고압전동기 운전중에 TGA와 PDA를 이용하여 측정된 결과를 나타냈다. 먼저 부분방전 크기는 TGA Qm[mV]과 표 2에서 나타난 바와 같이 정지중 결과를 분석하면, 고압전동기 E가 가장 양호하고 A, B, D, C, F순으로 절연열화가 크게 진전되고 있다. 또한 TGA와 PDA의 NQN을 분석하면, 고압전동기 A, E, F가 가장 양호하고 C, D, B순으로 절연열화가 크게 진전되고 있다. 따라서 부분방전 크기와 NQN을 종합적으로 분석하면, 고압전동기 E가 가장 양호하고 A, F, B, D, C순으로 절연열화가 크게 진전되고 있음을 확인할 수 있었다.

6대의 고압전동기 고정자 권선의 절연상태가 모두 양호하게 분석되었으나 부분방전 크기를 분석한 결과 초기 절연열화가 진전하고 있음을 보여주고 있다. NQN과 부분방전 크기(mV)를 주기적으로 측정하여 트랜드가 갑자기 증가하면 고정자 권선 내부에 이상이 있는 것으로 판정하고 있다[5]. 그러므로 NQN값이 갑자기 2~3배 증가하면 고압전동기 고정자 권선의 절연열화로 판정됨으로 정지하고 회전자를 분리하여 내부를 점검해야 한다.

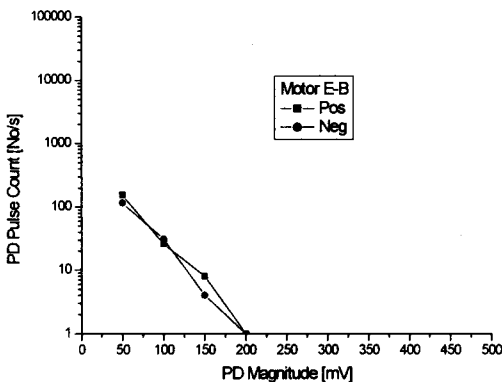
표 3. 운전중 고압전동기에서 TGA와 PDA 측정 결과

전동기	상별	TGA Qm[mV]		TGA NQN		PDA NQN	
		+	-	+	-	+	-
A	A	49	43	75	76	415	387
	B	54	58	96	103	333	311
	C	84	113	172	211	644	604
B	A	131	124	0	234	411	358
	B	156	130	378	0	688	621
	C	149	94	308	0	760	704
C	A	273	259	0	0	442	493
	B	319	269	0	0	588	729
	C	83	94	229	246	833	813
D	A	205	245	0	0	300	314
	B	204	192	452	418	597	454
	C	155	109	321	0	274	374
E	A	191	129	243	247	361	435
	B	44	39	71	70	170	156
	C	83	97	130	176	301	241
F	A	77	99	170	295	98	37
	B	139	196	281	417	208	164
	C	21	49	32	77	164	34

그림 3(a), (b)는 운전중 고압전동기 E의 B상에서 TGA와 PDA를 사용하여 부분방전 패턴을 측정하여 나타냈으며, 이는 그림 2의 정지중 방전패턴에서 나타낸 바와 같이 내부방전으로 분석되었다. 내부방전은 주절연재료(groundwall insulation) 내부 보이드(voids)에서 발생하며, 그림 3(a), (b)에서 나타낸 바와 같이 부극성 펄스(negative pulse)와 정극성 펄스(positive pulse)가 거의 일치한다. 이와 같이 내부방전은 제조시 바니쉬나 수지의 부적절한 함침 혹은 절연열화에 의해 절연층의 박리, 크랙 및 보이드 등에서 발생한다 [5]. 고압전동기 E는 20년 이상 동안 운전되었기 때문에 고정자 권선 내부에서 초기 절연열화로 인해 보이드가 발생된 것으로 사료된다.



(a) TGA



(b) PDA

그림 3. 고압전동기 E의 TGA와 PDA 패턴

4. 결 론

6대의 고압전동기 고정자 권선에서 정지중과 운전

중에 부분방전을 측정하여 절연열화 상태를 종합적으로 분석한 결과 고압전동기 E가 가장 양호하고 A, F, B, D, C순으로 절연열화가 크게 나타났다. 또한 정지중과 운전중에 측정된 부분방전 패턴도 모두 내부방전으로 상호 일치하게 분석되었으며, 이는 장기간 운전으로 인해 초기 절연열화가 발생하고 있음을 확인할 수 있었다. 그리고 NQN값을 주기적으로 측정하여 트렌드를 관리함으로써 고압전동기 고정자 권선의 절연열화 정도를 판정할 수 있다

(참 고 문 헌)

- [1] 김희동, "회전기 고정자 권선에서 부분방전 패턴 분석", 한국전력공사 전력연구원 기술개발 제42집, pp. 201-214, 2000.
- [2] 김희동, "수력발전기 고정자 권선에서 부분방전 특성", 한국전기전자재료학회 춘계학술대회, pp. 86-90, 2000.
- [3] H. Zhu, V. Green, M. Sasic. and S. Halliburton, "Capacitive Couplers with Increased Sensitivity On-Line PD Measurement in Stator Windings", IEEE International Symposium on Electr. Insul., pp. 261-265, 1998.
- [4] G. C. Stone, J. Bragoszewski, S. R. Campbell and B. A. Lloyd, "Development of A Practical Continuous On-Line Partial Discharge Monitor for Generators and Motors", IEEE International Symposium on Electr. Insul., pp. 206-209, 1996.
- [5] Partial Discharge Analyzer Analysis Report, ADWEL International Ltd., pp. 5-7, 1997.