

운전중인 고압전동기에서 절연열화 분석

김희동, 주영호
한전 전력연구원

Analysis of Insulation Aging in Operating High Voltage Motors

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

Abstract - During normal machine operation, partial discharge(PD) measurements were performed with turbine generator analyzer(TGA) in five high voltage motors(rated 6.6 kV). These high voltage motors were installed with 80 pF capacitive couplers at the terminal box. The PD patterns were displayed two dimensional and three dimensional. TGA summarizes each plot with two quantities such as the normalized quantity number(NQN) and the peak PD magnitude(Qm). Off-line PD measurements were conducted on five motors. These motors were energized to 3.81 kV. The PD levels in pC were measured with a conventional digital PD detector. The comparison of positive to negative PD indicates whether the defect elements of PD are within the insulation or on the insulation surface. Internal discharges were generated in phase A, B and C of COP-B and Pulv.-B, in phase B of Pulv. C and in phase C of Pulv.-D motor. Discharge at conductor surface was discovered in phase A of Pulv. D motor. Slot discharges occurred in three phases of Pulv. E motor.

1. 서 론

고압전동기 고정자 권선 결함은 제작하면서 본질적으로 갖고 있거나 혹은 장기간 운전되는 동안에 열적, 전기적, 기계적 및 환경적인 열화에 의해 복합적으로 형성된다. 제작 결함인 경우는 운전되고 나서 대략 5년 이내에 절연파괴가 일어나며, 복합적인 열화에 의한 결합 발생은 10년 이상 장기간 운전한 후에 서서히 문제가 나타나고 있다[1]. 고압전동기는 최종적으로 절연파괴가 발생하기 전에 결합 위치에 따라 내부방전, 슬롯방전, 도체표면에서 방전 및 트리밍 방전 등 여러 가지 부분방전 패턴이 확인되고 있다[2].

고압전동기 고정자 권선 단자박스에 에폭시-마이카 커플러(epoxy-mica coupler)를 설치하고 TGA(turbine generator analyzer)를 사용하여 운전중(on-line)에 부분방전을 측정하고 있다[3]. TGA는 고정자 권선에서 전체적인 방전활동을 확인하기 위해 NQN(normalized quantity number)과 부분방전 크기(Qm)를 주로 측정하여 추이(trend)를 분석함으로써 이상여부를 판정하고 있다. 일반적으로 운전중과 정지중(off-line)에 부분방전을 측정하는 장비가 서로 다르지만 부분방전 패턴은 상호 일치성을 갖고 있다[4].

본 논문은 발전소에서 20년 이상동안 장기간 운전된 5대의 고압전동기(정격전압 6.6 kV) 고정자 권선에서 운전중 부분방전 패턴을 측정하기 위해 단자함 박스에 에폭시-마이카 커플러를 각 상당 한 개씩 총 3개를 설치하였다. TGA를 사용하여 운전중에 고압전

동기 고정자 권선의 절연열화 발생 위치를 확인하였다. 또한, 고압전동기 정지중에 부분방전을 측정하여 운전중과 비교하였다.

2. 시험방법

본 논문은 그림 1에서 나타낸 바와 같이 고압전동기 고정자 권선 단자박스에 에폭시-마이카 커플러(80 pF epoxy-mica coupler, Iris Power Engineering)를 설치하였다. 운전중에 고압전동기 고정자 권선의 부분방전 특성을 측정하기 위해 상용화된 부분방전 분석기(turbine generator analyzer : TGA, Iris Power Engineering)를 사용하였으며, NQN, 최대부분방전 크기 및 부분방전 패턴 등을 분석하여 절연열화 상태와 정도를 분석하였다. 부분방전 폴스 개수, 부분방전 크기 및 위상을 2차원과 3차원으로 나타냈으며, 부분방전 패턴 분석을 통해 결합 발생 원인을 규명하였다. TGA의 주파수 대역은 0.1~350 MHz이며, 1 ns 민감 깊은 라이즈 타임(rise-time)을 갖는 부분방전 폴스도 측정이 가능하다. 전형적으로 부분방전은 1~5 ns의 라이즈 타임을 갖고 있다[5].

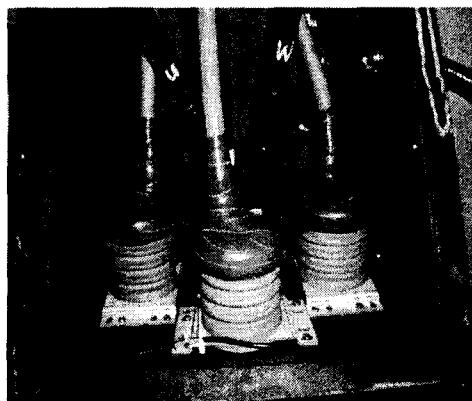


그림 1. 에폭시-마이카 커플러 센서

정지중에 6.6 kV급 고압전동기 고정자 권선의 절연단 시험을 위해 셰링브리지(schering bridge), 커플링 캐패시터(coupling capacitor) 및 디지털 부분방전 측정기(Tettex Instruments, TE 571)를 사용하였다. 셰링브리지는 전원 장치(HV supply, Type 5283), 브리지(bridge, Type 2818) 및 공진 인덕터(rsonating inductor, Type 5285)로 구성되어 있다. 고압전동기 고정자 권선에 셰링브리지(Tettex Instruments)를 연결하여 교류전압을 인가하며, 커플링 캐패시터(Tettex Instruments, 4,000 pF)는 권선에서 유입되는 신호를

커플링 유니트(coupling unit, Tettex Instruments, AKV 572)에 보내어 충폭한 후에 디지털 부분방전 측정기에서 방전크기 및 패턴을 측정하였다.

3. 시험결과 및 고찰

3.1 운전중 부분방전 분석

5대의 6.6 kV급 고압전동기 고정자 권선에서 운전 중 부분방전 특성을 분석하기 위해 TGA를 사용하여 NQN과 최대부분방전 크기(Qm)를 표 1에 나타내었다. 표준 석탄화력발전소에서 펌프용 고압전동기(COP)와 미분기용 고압전동기(Pulverizer)이며, 1년 동안 4차례 측정하였다. NQN과 Qm의 크기를 비교한 결과 COP-B의 A, B, C상, Pulv.-C의 B상, Pulv.-D의 A, C상, Pulv.-E의 A상은 거의 변화가 없으며, Pulv.-C의 A, C상, Pulv.-E의 B, C상은 초기에 비해 오히려 감소하였다. 그러나 Pulv.-B의 A, B, C상, Pulv.-D의 B상은 초기에 비해 증가함에 따라 고정자 권선에서 절연열화가 진행될 수 있기 때문에 지속적인 관찰이 필요하다.

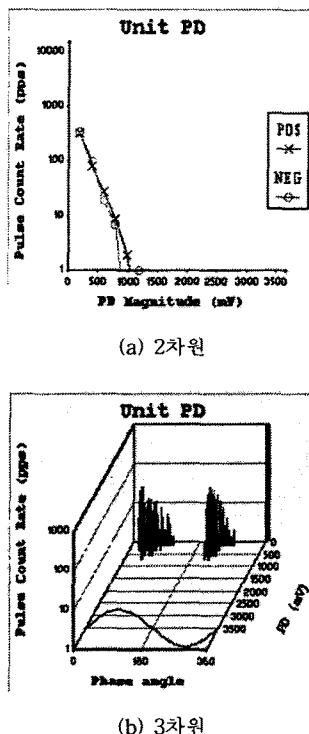
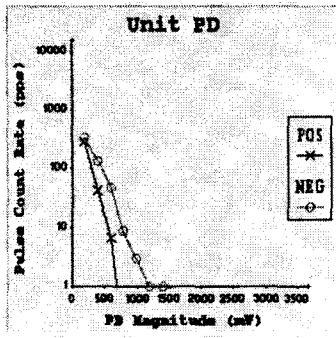


그림 2. 내부방전

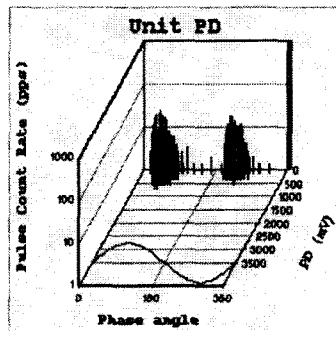
그림 2(a), (b)에서 나타낸 바와 같이 고압전동기 COP-B의 A, B, C상, Pulv.-B의 A, B, C상, Pulv.-C의 B상 및 Pulv.-D의 C상은 부극성 펄스(negative pulse)와 정극성 펄스(positive pulse)가 거의 일치하고 있으며, 표 1에서 보인 바와 같이 정극성 PD(partial discharge)와 부극성 PD가 거의 동일하기 때문에 부분방전 패턴이 내부방전(internal discharge)으로 분석되었다[6]. 내부방전은 장기간 운전에 의해 절연재로 내부의 평면(flat) 보이드 부분에서 방전이 발생되고 있으며, 주로 신규발전기 혹은 고압전동기에서 거의 60~70%정도를 점유하고 있다.

표 1. NQN과 Qm의 크기

고압전동기		2004. 5	2004. 6	2004. 8	2005. 4
COP-B A	NQN	+ 23	56	50	26
		- 32	58	61	35
	Qm	+ 12	56	56	13
		- 17	39	22	17
COP-B B	NQN	+ 38	40	43	31
		- 54	49	45	52
	Qm	+ 18	18	22	16
		- 28	25	25	28
COP-B C	NQN	+ 117	109	88	108
		- 123	119	95	112
	Qm	+ 51	50	40	47
		- 53	51	38	47
Pulv.-B A	NQN	+ 1517	1370	1103	2036
		- 1381	1275	1140	1496
	Qm	+ 777	736	585	1046
		- 780	680	580	788
Pulv.-B B	NQN	+ 1012	1160	694	1431
		- 976	976	735	1332
	Qm	+ 550	657	338	789
		- 435	594	362	750
Pulv.-B C	NQN	+ 244	234	195	332
		- 261	265	195	360
	Qm	+ 142	119	130	181
		- 139	117	127	195
Pulv.-C A	NQN	+ 651	623	504	561
		- 370	346	294	391
	Qm	+ 383	370	281	285
		- 233	196	172	218
Pulv.-C B	NQN	+ 159	119	117	171
		- 140	90	55	129
	Qm	+ 89	73	79	93
		- 75	57	43	95
Pulv.-C C	NQN	+ 114	89	44	51
		- 138	137	96	84
	Qm	+ 61	57	36	37
		- 78	86	54	54
Pulv.-D A	NQN	+ 804	570	628	992
		- 1640	1356	1316	1565
	Qm	+ 553	392	400	584
		- 857	773	737	795
Pulv.-D B	NQN	+ 1225	914	760	1145
		- 1505	1165	1057	1841
	Qm	+ 700	562	487	640
		- 793	699	595	1116
Pulv.-D C	NQN	+ 2416	2077	1871	2287
		- 2563	2173	2119	2347
	Qm	+ 1133	1100	860	981
		- 1184	1127	1120	1200
Pulv.-E A	NQN	+ 547	476	497	488
		- 183	177	229	168
	Qm	+ 281	235	236	220
		- 100	114	139	127
Pulv.-E B	NQN	+ 827	747	667	437
		- 417	411	372	186
	Qm	+ 386	371	321	212
		- 231	218	193	123
Pulv.-E C	NQN	+ 635	718	632	361
		- 180	343	215	114
	Qm	+ 315	330	295	182
		- 129	166	139	94

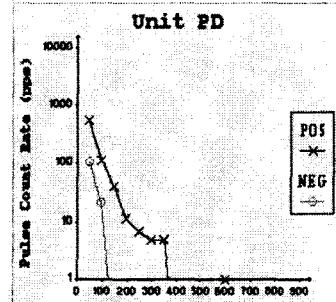


(a) 2차원

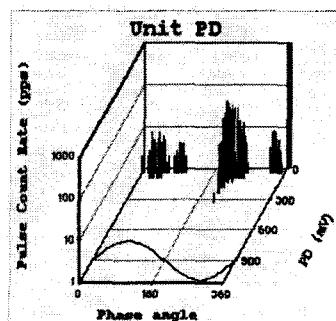


(b) 3차원

그림 3. 도체표면에서 방전



(a) 2차원



(b) 3차원

그림 4. 슬롯방전

그림 3(a), (b)에서 나타낸 바와 같이 고압전동기 Pulv.-D의 A상은 정극성 펄스에 비해 부극성 펄스가 우세하게 나타났으며, 표 1에서 보인 바와 같이 정극성 PD에 비해 부극성 PD가 높기 때문에 부분방전 패턴이 도체표면에서 방전(discharge at conductor surface)으로 분석되었다[6].

그림 4(a), (b)에서 나타낸 바와 같이 고압전동기 Pulv.-E의 A, B, C상은 정극성 펄스가 부극성 펄스보다 높으며, 표 1에서 보인 바와 같이 정극성 PD가 부극성 PD보다 높기 때문에 부분방전 패턴이 슬롯방전(slot discharge)으로 나타났다. $Q_m(+)$ 는 $Q_m(-)$ 에 비해 1.5배 이상이 크며, 슬롯방전으로 분석되기 때문에 계획예방정비공사를 수행할 때 정밀 분해점검 및 공장으로 반출하여 절연보강이 필수적이다[6].

또한, Pulv.-C의 A상은 슬롯방전에서 내부방전으로 변환되고 Pulv.-C의 C상과 Pulv.-D의 B상은 내부방전에서 도체표면방전으로 전환되어 나타났다.

3.2 정지중 부분방전 분석

표 2는 2004년 4월에 에폭시-마이카 커플러를 설치하기 전에 5대의 6.6 kV급 고압전동기 고정자 권선 분해점검을 마치고 3상 일괄로 정지중에 상전압에서 측정한 최대부분방전 크기를 나타내었다. 표 1과 표 2를 비교한 결과 COP-B, Pulv.-C 및 Pulv.-E의 A, B, C상은 운전중과 정지중에 측정한 결과가 상호 일치성을 갖고 있다. 따라서 COP-B의 C상, Pulv.-C의 A상 및 Pulv.-E의 A상에서 운전중에 측정한 NQN과 Q_m 의 크기는 정지중에 측정한 부분방전 크기를 대표하고 있다. 운전중과 정지중에 부분방전을 측정하여 분석한 결과 COP-B, Pulv.-B, Pulv.-C, Pulv.-D 및 Pulv.-E는 모두 절연상태가 양호하게 분석되었다. 그러나 Pulv.-B와 Pulv.-D는 운전중에 측정한 NQN과 Q_m 의 크기가 초기에 비해 증가함에 따라 고정자 권선에서 절연열화가 개시하고 있는 것으로 판정되어 지속적인 트렌드(trend) 관리가 필요하다.

표 2. 정지중에 측정한 부분방전 크기

고압전동기	부분방전 크기 [pC]		
	계통잡음 [pC]	방전개시 전압 [kV]	$E/\sqrt{3}$ [pC]
COP-B	1,000	6.1	1,200
Pulv.-B	1,000	3.4	5,300
Pulv.-C	1,000	4.3	1,500
Pulv.-D	1,000	3.3	6,500
Pulv.-E	1,000	3.4	2,000

4. 결 론

운전중인 고압전동기 COP-B와 Pulv.-B의 A, B, C상, Pulv.-C의 B상 및 Pulv.-D의 C상은 내부방전, Pulv.-D의 A상은 도체표면에서 방전으로 나타났으며, Pulv.-E의 A, B, C상은 슬롯방전으로 분석되었다. 또한, Pulv.-C의 A상은 슬롯방전에서 내부방전으로 변환되고 Pulv.-C의 C상과 Pulv.-D의 B상은 내부방전에서 도체표면방전으로 전환되어 나타났다. 운전중과 정지중에 부분방전을 측정하여 분석한 결과 COP-B, Pulv.-B, Pulv.-C, Pulv.-D 및 Pulv.-E는 모두 절연상태가 양호하게 분석되었다. 그러나 Pulv.-B와 Pulv.-D는 NQN과 Q_m 의 크기가 초기에 비해 증가함에 따라 고정자 권선에서 절연열화가 개시하고 있는 것으로 판정되어 지속적인 트렌드 관리가 필요하다.

(참 고 문 헌)

- [1] 김희동, “고압전동기 고정자 권선 절연재료의 미세 구조 특성”, 한국전기전자재료학회 춘계학술대회, pp. 513~517, 1999.
- [2] 김희동, “회전기 고정자 권선에서 부분방전 패턴 분석”, 한국전력공사 전력연구원 기술개발 제42집, pp. 201~214, 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 Electrical Insulation, pp. 261~265, 1998.
- [4] 김희동, “수력발전기 고정자 권선에서 부분방전 특성”, 한국전기전자재료학회 춘계학술대회, pp. 86~90, 2000.
- [5] V. Warren, G. C. Stone and M. Fenger, "Advancements in Partial Discharge Analysis to Diagnose Stator Winding Problems", IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp. 497~500, 2000.
- [6] G. C. Stone, Partial Discharge Seminar, Iris Power Engineering Inc., Vol. 1, pp. 56~78, 2001.