

**고압전동기 모델 코일의 부분방전 분석**

김희동, 공태식  
한전 전력연구원

**Analysis of Partial Discharge in High Voltage Motor Model Coils**

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

**Abstract** - Five model coils of 6.6 kV motor were manufactured with several defects. These stator coils have artificial defects such as void of groundwall insulation, removal of semi-conductive coating and damage of strand insulation. Epoxy-mica coupler(80 pF) was connected to five model coil terminals, respectively. The voltage applied to the coils was 3.81 kV, 4.76 kV, 6.0 kV and 6.6 kV. Partial discharge(PD) tests performed in the laboratory and shield room. Digital PD detector (PDD) and turbine generator analyzer(TGA) were used to measure 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 model coils were indicated the internal and slot discharges. PD patterns coincide with both PDD and TGA.

확인하기 위해 6.6 kV급 고압전동기 모델 코일 5개를 결합 요소별로 제작하였다. 고압전동기 고장자 권선 상태와 동일하게 고장자 권선, 철심 및 웨지로 구성되어 있다. 표 1은 5개의 고압전동기 모델 코일의 결합 요소를 나타내었다.

표 1. 모델 코일의 결합요소

모델 코일	결합요소
No. 1	정상 코일
No. 2	주절연재료 내부에서 공극
No. 3	반도전층 손상
No. 4	소선 단락
No. 5	도체표면에서 공극

**1. 서 론**

대부분 고압전동기 고장자 권선은 부분방전이 발생할 수 있는 여러 가지 잠재적인 요소를 갖고 있다. 고압전동기의 설계, 구성재료, 제작법, 운전조건 및 정비 사례 등이 부분방전의 크기, 발생 위치, 진행정도 및 특성에 현저하게 영향을 미치고 있다. 게다가 고압전동기의 비정상적인 운전, 각 종 열화, 권선의 진동 및 오손 등에 의해 주절연재료 내부에서 결합, 고장자 권선 표면에서 반도전층의 손상, 단말권선의 상대적인 이동으로 인한 마모 및 권선 표면의 오손 등으로 인해 다양하게 부분방전 패턴이 발생한다[1]. 이러한 패턴을 실제적으로 고압전동기 정지중(off-line)과 운전중(on-line)에 측정하여 고장자 권선의 절연재료에서 열화정도를 관정하는데 활용하고 있다[2, 3].

본 논문에서는 6.6 kV급 고압전동기 모델 코일을 도체표면과 주절연재료 내부에서 공극, 반도전층 손상 및 소선 단락 등과 같은 인위적인 결함을 갖도록 제작하였다. 운전중 모의를 위해 모델 코일에 80 pF의 에폭시-마이카 커플러(epoxy-mica coupler)를 설치하였으며, TGA(turbine generator analyzer)를 사용하여 NQN(normalized quantity number), 부분방전 크기(Qm) 및 부분방전 패턴 등을 측정하였다. 그리고 디지털 부분방전 측정기를 사용하여 정지중에 모델 코일의 절연열화 상태를 분석하였다.

**2. 시험방법**

본 논문은 실제 고압전동기에서 절연열화 상태를

그림 1에서는 6.6 kV급 고압전동기 모델 코일의 절연상태 및 부분방전 시험을 위해 셰링브리지(schering bridge), 커플링 캐패시터(coupling capacitor) 및 디지털 부분방전 측정기(Tettex Instruments, TE 571)를 사용하였다. 전원공급 설비는 전원장치(HV supply, Type 5283), 제어장치(control, Type 5285) 및 브리지(bridge, Type 2818)로 구성되어 있다. 고압전동기 모델 권선에 전원장치(Tettex Instruments)를 연결하여 교류전압을 인가하였으며, 커플링 캐패시터(Tettex Instruments, 4,000pF)는 권선에서 유입되는 방전신호를 커플링 유닛(coupling unit, Tettex Instruments, AKV 572)에 보내어 증폭한 후에 디지털 부분방전 측정기에서 방전크기 및 패턴을 측정하였다.

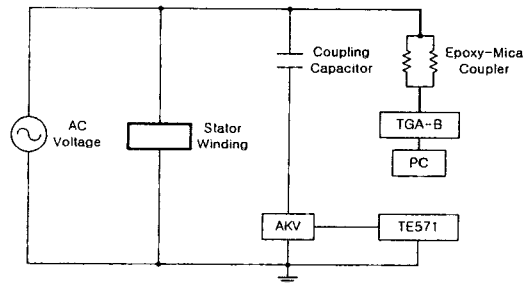


그림 1. 부분방전 측정회로

또한, 운전중 모의를 위해 모델 코일에 에폭시-마이카 커플러(80 pF epoxy-mica coupler, Iris Power Engineering)를 설치하였다. TGA(turbine generator analyzer, Iris Power Engineering)를 사용하여 NQN, 최대부분방전 크기(Qm) 및 부분방전 패턴 등을 분석

하여 절연열화 상태와 정도를 분석하였다. TGA의 주파수 대역은 0.1~350 MHz이다.

### 3. 시험결과 및 고찰

고압전동기 모델 코일 5개를 일반시험실과 차폐룸에서 부분방전 특성을 측정하여 표 2, 표 3 및 표 4에 나타내었다. 또한, 표 2, 표 3 및 표 4에 나타낸 데이터는 각각의 코일을 시험실과 차폐룸에서 10차례 반복하여 시험하였으며, 가장 큰 것과 작은 것은 버리고 평균값을 나타내었다.

표 2. 모델 코일의 부분방전 개시전압

모델 코일		외부잡음[pC]	방전 개시전압[kV]
No. 1	시험실	320	4.5
	차폐룸	60	5.3
No. 2	시험실	350	4.5
	차폐룸	100	4.7
No. 3	시험실	350	4.1
	차폐룸	50	4.5
No. 4	시험실	350	4.4
	차폐룸	100	4.6
No. 5	시험실	400	4.5
	차폐룸	60	5.3

표 3. 모델 코일의 부분방전 크기 및 패턴

모델 코일		3.81kV	4.76kV	6.0kV	6.6kV	
No. 1	시험실	크기[nC]	0.48 ~0.6	1.2 ~1.6	1.8 ~2.7	2.7 ~3.5
		패턴	내부	내부	내부	내부
	차폐룸	크기[nC]	0.28 ~0.42	1.2 ~1.5	1.7 ~2.4	2.6 ~3.0
		패턴	내부	내부	내부	내부
No. 2	시험실	크기[nC]	0.84 ~0.95	1.4 ~2.1	3.0 ~4.5	3.7 ~5.3
		패턴	내부	내부	내부	내부
	차폐룸	크기[nC]	0.4~ 0.49	0.68 ~1.1	2.2 ~3.2	2.7 ~4.0
		패턴	내부	내부	내부	내부
No. 3	시험실	크기[nC]	0.71 ~0.81	3.7 ~4.3	7.5 ~10	7.5 ~10
		패턴	슬롯	슬롯	슬롯	슬롯
	차폐룸	크기[nC]	0.69 ~0.73	1.9 ~2.2	3.4 ~4.0	6.8 ~7.4
		패턴	슬롯	슬롯	슬롯	슬롯
No. 4	시험실	크기[nC]	0.36 ~0.45	1.8 ~2.5	3.5 ~6.1	4.7 ~6.1
		패턴	내부	내부	내부	내부
	차폐룸	크기[nC]	0.26 ~0.38	2.0 ~2.6	1.9 ~2.2	2.6 ~3.9
		패턴	내부	내부	내부	내부
No. 5	시험실	크기[nC]	0.52 ~0.62	1.1 ~1.5	2.2 ~3.2	3.5 ~4.2
		패턴	내부	내부	내부	내부
	차폐룸	크기[nC]	0.35 ~0.5	0.88 ~0.95	1.7 ~3.1	2.8 ~4.2
		패턴	내부	내부	내부	내부

표 4. 모델 코일의 NQN과 Qm 크기

모델 코일			3.81 kV	4.76 kV	6.0 kV	6.6 kV
No. 1	시험실	NQN	+ 52	109	180	279
			- 113	188	228	292
		Qm	+ 37	65	120	150
	차폐룸	NQN	+ 25	77	167	163
			- 49	116	180	197
		Qm	+ 28	41	112	111
No. 2	시험실	NQN	+ 114	274	377	384
			- 113	244	353	442
		Qm	+ 77	150	205	200
	차폐룸	NQN	+ 59	94	292	359
			- 47	104	362	348
		Qm	+ 39	93	165	200
No. 3	시험실	NQN	+ 105	247	595	632
			- 29	50	69	171
		Qm	+ 65	105	288	294
	차폐룸	NQN	+ 77	198	352	498
			- 18	66	129	235
		Qm	+ 46	110	194	250
No. 4	시험실	NQN	+ 37	121	381	486
			- 40	193	371	448
		Qm	+ 13	74	186	272
	차폐룸	NQN	+ 35	215	494	585
			- 47	280	495	714
		Qm	+ 17	130	225	282
No. 5	시험실	NQN	+ 30	59	260	311
			- 91	148	228	283
		Qm	+ 33	38	133	186
	차폐룸	NQN	+ 56	106	336	397
			- 106	200	346	425
		Qm	+ 38	56	139	229
	- 69	90	191	245		

표 2는 부분방전을 측정할 때 외부잡음과 부분방전 개시전압(discharge inception voltage : DIV) 등을 측정하여 나타내었다. 부분방전 측정시 시험실의 외부잡음은 320~400 pC이며, 차폐룸의 외부잡음은 50~100 pC으로 낮게 나타났다. 표 2에서 나타낸 바와 같이 시험실과 차폐룸에서 정상코일과 도체표면에서 결함을 모의한 권선에서 부분방전 개시전압은 각각 4.5 kV, 5.3 kV로 높게 나타났으며, 반도체층 손상을 모의한 권선에서 부분방전 개시전압은 각각 4.1 kV, 4.5 kV로 비교적 낮게 나타났다. 그리고 주절연재료 내부에서 결함을 모의한 권선에서 부분방전 개시전압은 각각 4.5 kV, 4.7 kV, 소선단락을 모의한 권선에서 부분방전 개시전압은 각각 4.4 kV, 4.6 kV로 유사하게 나타났다.

표 3은 모델 권선을 시험실과 차폐룸에서 인가전압을 각각 3.81 kV, 4.76 kV, 6.0 kV 및 6.6 kV로 증가

시키면서 부분방전 크기와 부분방전 패턴을 나타내었다. 대체적으로 동일한 코일에서 부분방전 크기를 측정 한 결과 시험실보다는 차폐룸에서 조금 낮게 측정되었다. 그러나 도체표면에서 결함을 갖는 코일은 시험실과 차폐룸에서 거의 유사하게 나타났다. 또한, 부분방전 크기는 정상 코일에서 가장 낮게 나타났으며, 반도체층 손상을 모의한 권선에서 가장 크게 나타났다. 그리고 주절연재료 내부에서 결함, 소선단락 및 도체표면에서 결함을 갖는 코일은 유사하게 분석되었다. 부분방전 패턴은 정상 코일, 주절연재료 내부에서 결함, 소선 단락 및 도체표면에서 결함을 모의한 권선은 모두 내부방전(internal discharge)이 나타났으며, 반도체층 손상을 모의한 권선에서만 슬롯방전(slot discharge)으로 분석되었다.

표 4는 고압전동기 모델 코일을 시험실과 차폐룸에서 인가전압을 각각 3.81 kV, 4.76 kV, 6.0 kV 및 6.6 kV로 증가시키면서 NQN과 Qm 크기를 나타내었다. NQN과 Qm의 크기는 표 3에서 나타난 바와 같이 부분방전 크기(pC)와 마찬가지로 전압이 증가함에 따라 높게 나타났다. 부분방전 패턴도 표 3에서 나타난 바와 같이 정상 코일, 주절연재료 내부에서 결함 및 소선 단락 결함을 모의한 권선은 모두 Qm(+)와 Qm(-)가 거의 동일하기 때문에 내부방전을 나타내고 있다 [3]. 도체표면에서 결함을 모의한 권선에서 부분방전 패턴은 3.81 kV와 4.76 kV에서는 Qm(+)가 Qm(-)보다 작기 때문에 도체표면에서 방전(discharge at conductor surface)으로 나타났으나, 6.0 kV와 6.6 kV에서는 다시 내부방전을 나타내고 있다. 그러나 반도체층 손상을 모의한 권선에서만 Qm(+)가 Qm(-)보다 우세하기 때문에 슬롯방전 형태를 나타내고 있다. 일반적으로 극성이 우세하다는 판정은 정극성에 비해 부극성 혹은 부극성에 비해 정극성이 1.5배 이상 차이를 보일 때를 의미한다[3].

#### 4. 결 론

5개의 모델 코일에서 디지털 부분방전 측정기와 TGA를 사용하여 부분방전 특성을 측정 한 결과 부분방전 크기와 NQN은 인가전압에 따라 증가하였으며, 부분방전 패턴도 상호 일치하였다. 부분방전 크기는 정상 코일에서 가장 낮게 나타났으며, 반도체층 손상을 모의한 권선에서 가장 크게 나타났다. 그리고 주절연재료 내부에서 결함, 소선단락 및 도체표면에서 결함을 갖는 코일은 유사하게 분석되었으며, 시험실보다는 차폐룸에서 조금 낮게 측정되었다. 부분방전 패턴은 정상 코일, 주절연재료 내부에서 결함, 소선 단락 및 도체표면에서 결함을 모의한 권선은 모두 내부방전이 나타났으며, 반도체층 손상을 모의한 권선에서만 슬롯방전으로 분석되었다. 결함을 모의한 코일에서 측정 한 부분방전 특성은 실제 고압전동기 고정자 권선의 절연열화 해석에 직접적인 활용이 가능하다. 그러나 결함을 모의한 코일에서 부분방전 크기가 낮기 때문에 결함이 미진한 것으로 판정됨에 따라 향후 좀더 가혹한 조건으로 모델 코일을 제작하여 시험을 수행 할 필요가 있다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] IEEE Std 1434-2000, IEEE Trial-Use Guide to the Measurement of Partial Discharges in Rotating Machinery.
- [2] 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.
- [3] G. C. Stone, Partial Discharge Seminar, Iris Power Engineering Inc., Vol. 1, pp. 56~78, 2001.