

## PDA를 이용한 고압전동기 고정자 권선에서 부분방전 특성

### Partial Discharge Properties of High Voltage Motor Stator Insulation using Partial Discharge Analyzer

김희동\*, 이 상길\*

(Hee Dong Kim, Sang Kil Lee)

#### Abstract

Partial discharge(PD) testing for different capacitive couplers was performed on a 6.6kV, 448kW pulverizer motor. The motor has been in service for twenty years. PD tests were measured using digital partial discharge detector(DPDD) and partial discharge analyzer(PDA), respectively. PDA is used to in the motor stator insulation, which three 80pF or three 500pF epoxy-mica couplers were installed, one per phase. The 500pF couplers did detect more normalized quantity number(NQN) than the 80pF couplers. DPDD and PDA showed that PD and NQN magnitudes increased with increase of ac voltage. Internal discharge was discovered in the motor stator insulation. DPDD and PDA test results are in accordance with the pattern and magnitude of PD.

#### 1. 서론<sup>1)</sup>

고압전동기 고정자 권선의 절연재료는 실제 운전 중에 열적, 기계적, 전기적 및 환경적인 원인에 의해 절연열화가 진행된다. 열적 원인은 과부하, 주기적인 기동 정지, 소선절연(strand insulation)의 손상, 마이카 테이프의 분리 등에 의해 일어나고, 기계적 원인은 진동, 웨지(wedge)와 권선 매듭(tie)의 느슨해짐, 비동기화 등이 있다. 전기적 원인은 부분방전, 슬롯방전, 불평형 전압, 스위칭 썬지와 전력계통의 난조에 의해 발생하는 과도적인 응력(stress) 등이 있다 [1]. 환경적 원인은 도전성 물질, 습기, 먼지와 기름 등이 유입됨에 따라 절연열화와 파괴가 발생한다.

따라서 이러한 현상을 사전에 인지하기 위해 고압전동기 정지중(off-line)과 운전중(on-line)에 부분방전을 측정하여 절연재료에서 열화정도를 판정하고 있다. 그러나 정지중과 운전중에 부분방전을 측정하는 장비가 서로 다르지만 부분방전 패턴은 상호 일치성을 갖고 있다[2]. 고압전동기 고정자 권선 단자 박스에 에폭시-마이카 커플러(epoxy-mica coupler)를 설치하고 PDA(partial discharge analyzer)를 사용하여 운전중에 부분방전을 측정하고 있다[3].

PDA는 고정자 권선에서 전체적인 방전활동을 파악하기 위해 NQN (normalized quantity number)과 부분방전 크기(mV)를 주로 측정하여 트렌드를 분석함으로써 이상여부를 파악하고 있다.

본 논문에서는 정지중에 고압전동기(6.6kV, 448kW) 고정자 권선에서 절연진단을 수행하여 교류전류, 유전정접 및 부분방전 등 전기적 특성을 측정하였다. 그리고 에폭시-마이카 센서가 설치된 고압전동기에서 PDA를 사용하여 정지중과 운전중에 부분방전 패턴을 분석하였다.

#### 2. 실험방법

##### 2.1 정지중 절연진단

고압전동기 정지중에 고정자 권선의 절연진단 실험을 위해 셰링브리지(Schering Bridge), 커플링 캐패시터(coupling capacitor) 및 디지털 부분방전 측정기를 사용하였다. 셰링브리지는 전원장치(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, 4,000pF)는 권선에서 유입되는 신호를 커플링 유니트(coupling unit, Tettex Instruments AKV 572)에 보

\*한전 전력연구원

내어 증폭한 후에 디지털 부분방전 측정기(Tettex Instruments TE 571)에서 방전크기 및 패턴을 측정하였다.

## 2.2 PDA 측정기법

고압전동기 정지중과 운전중에 고정자 권선의 부분방전 시험을 위해 PDA(FES International Co.)를 사용하여 방전크기의 변화와 절연열화 상태를 분석하였다. 고전압 전원장치에서 각 상별로 상전압(3.81kV), 상전압의 1.25배(4.76kV) 및 정격전압(6.6kV)을 인가하면서 PDA를 이용하여 NQN과 부분방전 크기를 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 정지중 절연진단 분석

미분기용 고압전동기(6.6kV, 448kW) 고정자 권선에서 정지중에 정격전압까지 인가하면서 교류전류를 측정하였다. 정격전압 6.6kV에서  $\Delta I$ 는 2.68%로 분석되어 양호하게 판정되었으며,  $\Delta I$ 가 작을수록 절연재료의 상태를 양호하게 판정한다.

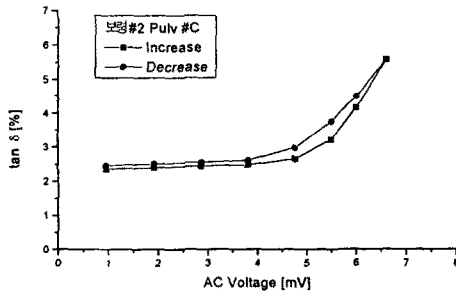
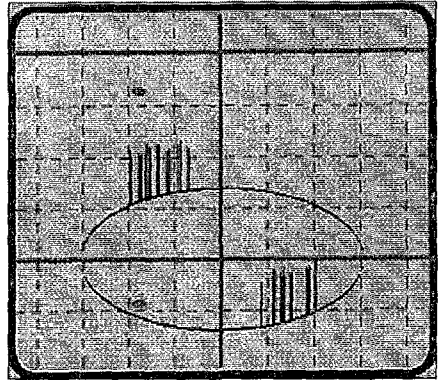


그림 1. 고압전동기의  $\tan \delta$ -전압 특성

유전특성을 분석하여 부분방전의 발생여부, 부분방전의 개시전압 및 부분방전 발생량의 평균적인 값을 예측할 수 있다. 그림 1은 교류전압을 6.6kV까지 증가시킨 후에 다시 감소시키면서  $\tan \delta$ -전압 특성을 나타냈다.  $\tan \delta$ 가 3.81kV~4.76kV에서 증가하고 있으며, 전압증가와 감소시의 곡선이 일치하지 않기 때문에 고정자 권선 내부에 보이드가 존재하고 있음을 예측할 수 있다.

고압전동기 고정자 권선에서 정격전압까지 전압을 증가하면서 부분방전을 측정하였다. 부분방전 측정계 계통잡음은 1,000pC이며, 부분방전 개시전압은 2.2kV로 나타났다. 부분방전 개시전압은 그림 1의  $\tan \delta$ -전압 특성에서 설명한 것 같이 인가전압 증가에 따른  $\tan \delta$  증가점과 일치하고 있다. 부분방전 크기는 상전압(3.81kV)에서 1.9nC이며, 6.6kV에서 5.7nC로 증가하였다. 그림 2는 6.6kV에서 부분방전



6.6kV(PD-Range : 5.0nC/div)

그림 2. 고압전동기의 부분방전 패턴

측정 결과를 나타냈으며, 부분방전 패턴이 내부방전(internal discharge)으로 분석되었다.

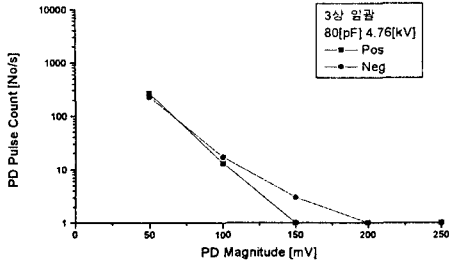
### 3.2 정지중 PDA 분석

정지중 미분기용 고압전동기 고정자 권선에서 부분방전 시험을 위해 에폭시-마이카 커패시터(80pF, 500pF)를 설치하고 PDA를 사용하여 방전패턴과 절연열화 상태를 분석하였다. 표 1은 정지중에 외부에서 고전압을 전동기에 3.81kV, 4.76kV 및 6.6kV을 인가하면서 PDA를 이용하여 측정된 결과를 나타냈다. 전압증가에 따라 NQN과 부분방전 크기가 증가하고 있다.

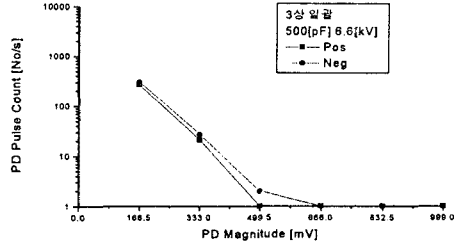
표 1. 정지중 NQN의 변화량

상별	인가전압 [kV]	커패시터 [pF]	Gain	NQN	
				+	-
3상 일괄	3.81	80	5.0	98	95
		500	5.0	132	133
	4.76	80	2.0	116	179
		500	2.0	207	216
	6.6	80	1.0	351	386
		500	0.6	422	495

고압전동기 고정자 권선에 외부전원 장치에서 전압을 3.81kV, 4.76kV, 6.6kV을 인가하면서 부분방전의 패턴을 3상 일괄로 측정하여 그림 3과 그림 4에 나타냈다. 그림 3과 그림 4에서 나타난 바와 같이 부분방전 패턴을 분석하면 주절연재료 내부 보이드(voids)에서 내부방전이 발생하며, 부극성 펄스(negative pulse)와 정극성 펄스(positive pulse)가 거의 일치하게 나타나고 있다[4].

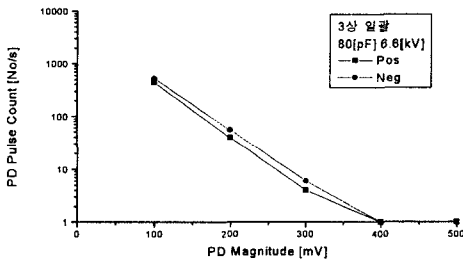


(a) 4.76 kV



(b) 6.6 kV

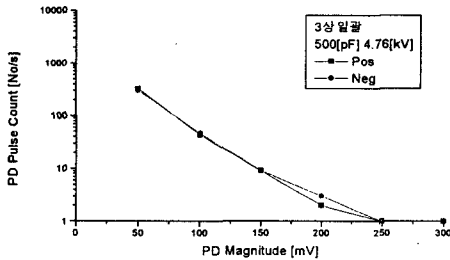
그림 4. 500pF 설치시 PDA 패턴



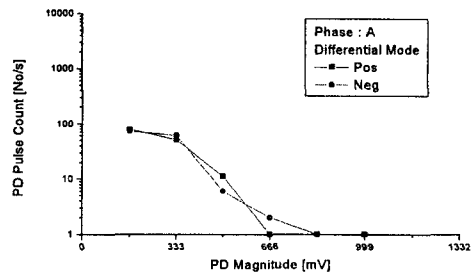
(c) 6.6 kV

그림 3. 80pF 설치시 PDA 패턴

이는 정지중 절연진단시에 측정된 부분방전 패턴과 일치하고 있다. 일반적으로 내부방전은 제조사 바니쉬나 수지의 부적절한 함침 혹은 절연층의 박리와 같이 열화과정에 의해 발생한다. NQN값이 에폭시-마이카 커패시터 80pF에 비해 500pF에서 더 높게 나타나는 것은 다른 문헌과도 일치하고 있다[3].



(a) 4.76 kV



(b) 500pF 설치시 PDA 패턴

### 3.3 운전중 PDA 분석

미분기용 고압전동기 단자함에 에폭시-마이카 커패시터(500pF)를 설치하고 운전중에 PDA를 분석하였다. 표 2는 운전중인 고압전동기에서 PDA를 이용하여 측정된 NQN의 변화량을 나타냈다.

표 2. 운전중 NQN의 변화량

상별	Gain	커패시터 [pF]	NQN	
			+	-
A 상	0.6	500	615	632
B 상	0.6	500	1632	2047
C 상	0.6	500	1018	876

그림 5는 운전중인 고압전동기 고정자 권선에서 부분방전의 패턴을 측정하여 나타냈으며, A상에서 부분방전 패턴이 내부방전으로 분석되었다. 그러나 NQN값이 정지중에 비해 4.66~4.75배 정도 크게 분석되었다.

#### 4. 결론

미분기용 고압전동기 고정자 권선을 정지중에 절연진단을 수행하여 교류전류, 유전정접 및 부분방전 등을 측정된 결과 양호하게 분석되었다. 또한 고압전동기 단자함에 에폭시-마이카 커플러를 설치하고 정지중과 운전중에 PDA를 사용하여 부분방전 패턴을 분석한 결과 내부방전으로 나타났으며, 이는 정지중 절연진단시에 측정된 결과와 일치하였다. 그리고 PDA를 사용하여 상전압에서 정격전압까지 인가전압을 증가하면서 측정된 결과 전압증가에 따라 NQN과 부분방전 크기가 증가하고 있음을 확인하였다.

#### 참고문헌

1. O. M. Nassar, "Effect of Surge Wave Reflection Inside a Motor on Voltage Distribution Across Stator Windings", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-104, No. 4, pp. 882-889, 1985.
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. Partial Discharge Analyzer Analysis Report, ADWEL International Ltd., pp. 5-7, 1997.