

고압전동기 고정자 권선의 운전중 부분방전 분석

Analysis of On-Line Partial Discharge in High Voltage Motor Stator Windings

이상길*, 김희동**, 김광현*

(Sang-kil Lee, Hee-Dong Kim, Kwang-hun Kim)

Abstract

During normal operation, partial discharge(PD) tests were performed using turbine generator analyzer(TGA) in high voltage motor. Epoxy-mica couplers are installed at motor terminal and analyzed PD signal using TGA. #A motor stator insulation is good because small partial discharges are detected. PD pattern show that PD occurs in insulation. PD of #B motor is larger than that of #A motor and PD pattern show that positive PD larger than negative PD. It means that PD occurs between insulation and slot. And A phase PD magnitude of #B motor is large and high compare with any other phase. Therefore wedge, core and slot of #B motor need to check and repair.

1. 서론

고압전동기는 운전 기간이 경과함에 따라 열 피로 누적, 기계적 진동 및 전기적 충격 등으로 인해 절연이 열화되어 절연파괴에 이르게 된다. 운전중(On-Line)에 절연열화 상태를 가장 신뢰성 있게 판단하기 위해 부분방전 측정이 널리 사용하고 있으나, 아직도 전동기를 정지하고 측정하는 정지중(Off-Line) 절연진단 시험법도 많이 사용하고 있다. 그러나 산업현장에서는 장기간 정지하지 않고 운전할 수 있도록 기기의 신뢰성을 증가시키고 기기의 상태와 수명을 예측할 수 있는 시스템을 요구하고 있으므로 고압전동기 고정자 권선의 절연을 운전상태에서 감시할 수 있도록 하기 위해 운전중 절연진단 시스템을 개발하고 있다.

본 논문에서는 10년 이상 사용한 7.2kV급 고압전동기를 대상으로 운전중 고정자 권선의 절연상태를 진단할 수 있도록 부분방전 센서를 고압전동기 고정자 권선 단자박스에 설치하고 NQN (Normalized Quantity Number), 최대 부분방전 크기(Qm, mV)를 측정하였다. 고압전동기 고정자 권선에 대한 NQN과 Qm을 측정하고 변화추이를 분석함으로써 권선의 전체적인 방전상태와 절연의 건전성을 파악하였다.

2. 시험 방법

그림1과 같이 7.2kV급 고압전동기(용량 : 480kW)에 운전중 부분방전을 측정하기 위해 에포시-마이카 커플러(epoxy-mica coupler, 80pF)를 각 상별로 설치하고 부분방전 분석기(turbine generator analyzer : TGA, IRIS Power Engineering)를 사용하여 NQN, 최대 부분방전 크기와 위상 등을 2차원과 3차원 그래프로 표시 하고 부분방전 패턴을 분석하여 결함 발생원인을 파악하였다.

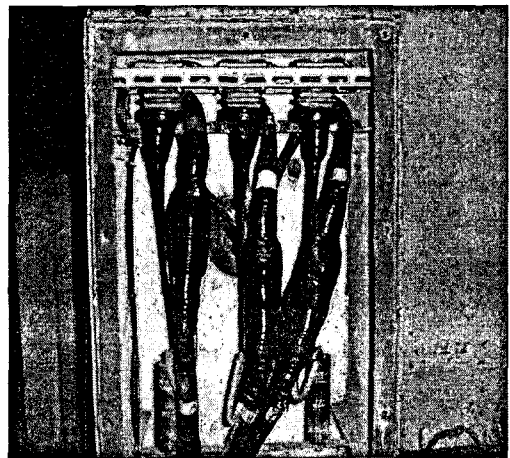


그림 1. 전동기 부분방전 센서 설치

* 전남대 전기공학과

** 한전 전력연구원

TGA 주파수 대역은 0.1~350MHz이며 1ns의 rising-time을 갖는 부분방전 펄스도 측정이 가능하다.[1]

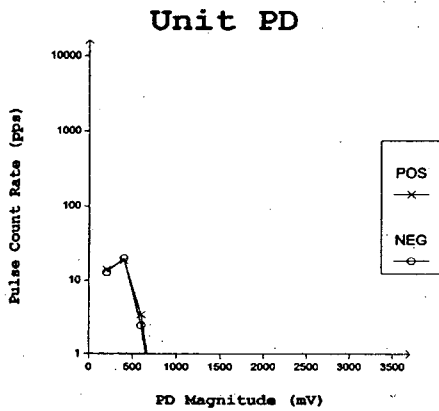
3. 시험결과 및 고찰

고압전동기 고정자 권선에서 발생하는 부분방전 특성을 분석하기 위해 TGA를 이용하여 NQN과 최대 부분방전 크기를 측정하여 표1에 표시하였다. 시험에 사용한 전동기는 2대로 동일한 전압, 용량 및 부하를 갖고 있다.

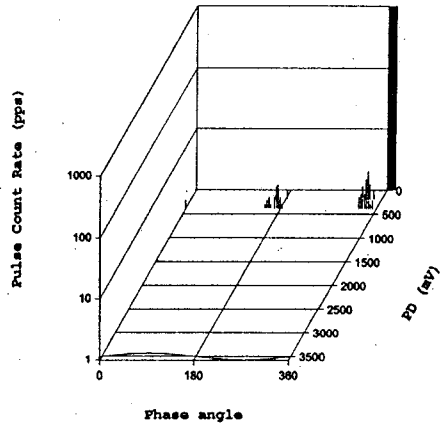
표 1 전동기 NQN 및 Qm 측정결과

전동기명		NQN		Qm[mV]	
		+	-	+	-
#A 전동기	A상	589	557	513	513
	B상	711	761	462	440
	C상	220	227	132	130
#B 전동기	A상	1949	1466	1027	597
	B상	612	597	312	323
	C상	501	542	385	386

NQN+:589 NQN:-557 QM+:513 QM:-513



(a) 2차원

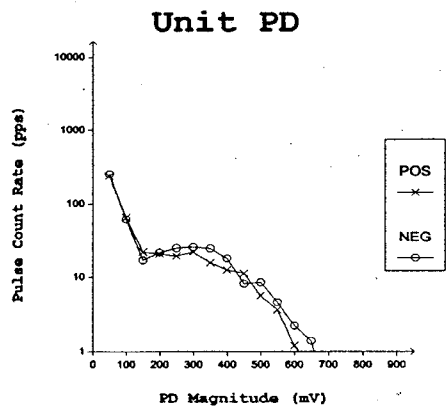


(b) 3차원

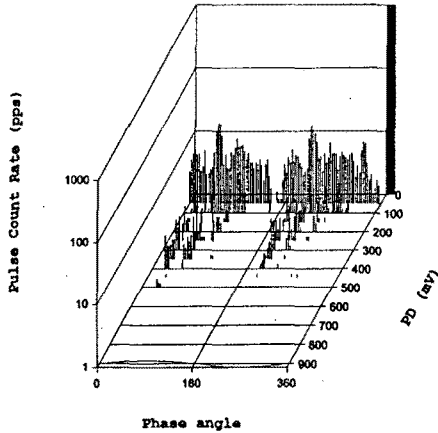
그림 2. #A 전동기 A상의 부분방전 패턴

표1에서 #A 전동기의 NQN은 각상 모두 +와 -가 거의 비슷하게 나타나고 있다. 또한 Qm도 +와 -가 비슷한 결과를 보이고 있다. 각 상별 편차는 약간 발생하고 있으나 전반적으로 방전량이 적고 방전크기도 작으므로 전동기가 전체적으로 양호한 절연상태를 유지하고 있다. #B 전동기의 B상과 C상은 #A 전동기와 유사한 결과를 보이고 있으나 A상의 NQN과 Qm은 다른 상에 비해 현저히 큰 값을 나타내고 있으며, 방전패턴도 -에 비해 +가 현저히 크게 나타나고 있다. 이는 A상의 절연상태가 다른 상에 비해 나쁜 상태임을 알 수 있다.

NQN+:711 NQN:-761 QM+:462 QM:-440



(a) 2차원



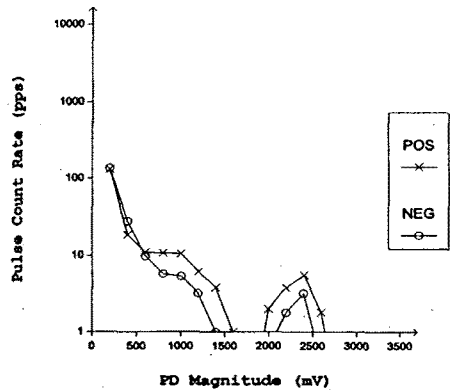
(b) 3차원

그림 3. #A 전동기 B상의 부분방전 패턴

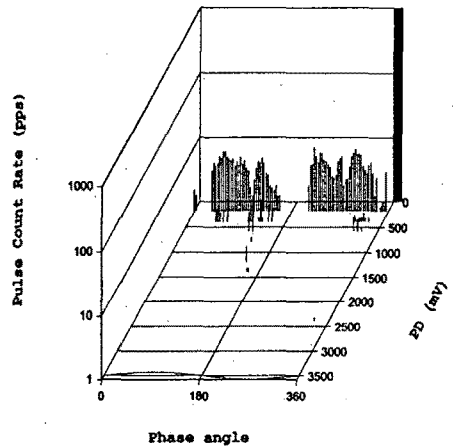
그림 2와 3은 고압전동기 부분방전 패턴을 그래프로 보여주고 있다. 방전의 정극성과 부극성이 거의 일치하고 있으며 방전크기가 클수록 방전갯수는 줄어들고 있음을 알 수 있다. 또한 그림 2, 3의 그래프로 부분방전의 패턴을 알 수 있다. 즉 정극성에서의 방전과 부극성에서의 방전량이 거의 일치하고 있으므로 이는 절연물 내부의 보이드에서 발생하는 부분방전으로 장기간 운전에 따른 절연물 내부 열화에 기인한 것이다.

내부방전 외에 부분방전의 또 다른 패턴은 도체 표면 방전으로 도체 표면과 주절연 사이의 미소 공극(void)에서 발생하며, 공극은 함침시 채워지지 않았거나 운전중 열적, 기계적인 힘에 의해 발생한다. 도체 표면에서의 방전은 도체 표면이 정극성이 되는 경우 유전체 전극에 모여있던 전자가 도체 전극으로 이동하여 전자가 표면저항이 낮은 도체전극에 트랩(trap) 되지 않고 전부 도체를 통하여 이동하므로 도체 전극이 부극성이 되는 경우 보다 방전량이 크다. TGA로 측정시에는 출력전압이 정극성일 경우는 부극성 부분방전, 출력전압이 부극성일 경우 정극성 부분방전이 발생한다.[2] 따라서 NQN 측정결과 부극성 펄스가 정극성에 비해 많이 나타나게 되며, 슬롯방전의 경우에는 이와 반대로 정극성 펄스가 부극성 펄스에 비해 많이 나타나게 된다. 또한 정극성 펄스와 부극성 펄스가 비슷하게 나타나게 되면, 절연물 내부에 있는 보이드에서 부분방전이 발생하게 되는 것이다.

Unit PD



(a) 2차원



(b) 3차원

그림 4. #B 전동기 A상의 부분방전 패턴

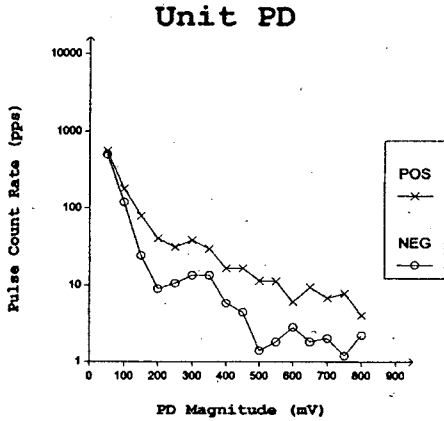
미소공극에서 발생한 부분방전은 전기적 트리로 진전되며, 주절연, 소선 및 턴절연을 마모시키고 소선간 또는 턴간 절연을 파괴시키게 된다.[3]

다만 그림 2의 #A 전동기에서 부분방전 패턴은 내부방전 형태이지만 전체적으로 방전량과 크기가 작으므로 절연에 문제가 있다고 보기는 어렵다. 진단경험에 의하면 신규 전동기의 경우도 이러한 내부방전 형태가 많이 나타난다. 또한 On-line 진단에서는 방전량이나 크기의 절대적인 량 보다는 변화 추이가 절연상태를 판정하는데 더 중요한 요소이다.

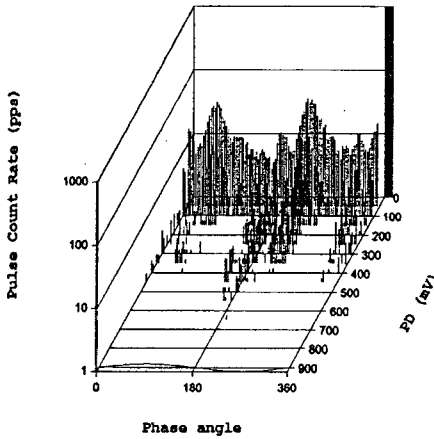
그림 4와 5는 #B 전동기의 부분방전 패턴을 표시하였다. #B 전동기는 부분방전 패턴이 정극성 펄스가 부극성 펄스보다 더 많은 슬롯방전 형태를 나타

내고 있다. 이는 철심부위와 권선의 절연물 사이에서 부분방전이 발생하는 것으로 코일과 슬롯의 상대적인 움직임에 따라 반도체층이 마모되고 이로 인해 반도체층이 슬롯에 불충분하게 접지되며, 반도체층에 축적된 전하와 슬롯 사이에 방전현상이 발생하게 된다.

NQN+:n/a NQN-:n/a QM+:561 QM-:372



(a) 2차원



(b) 3차원

그림 5. #B 전동기 B상의 부분방전 패턴

또한 웬지 혹은 측면패킹 압력의 손실로 인해 권선이 슬롯에서 느슨하게 되면 주절연에 용량성 충전전류가 집속점에 흐르는 통로가 형성되어 반도체체에 과도한 열을 가하게 된다. 슬롯방전은 넓은 면적에서 전하가 축적됨으로 인해 상당한 양의 에너지를 가지고 방전이 발생되어 최종적으로 반도체층

을 완전히 파괴시킨다. 이러한 슬롯방전은 조기에 발견되지 않으면 권선의 절연파괴로 이어지게 된다.[4]

따라서 #B 전동기는 정지하여 분해 후 웬지 점검과 함께 권선과 슬롯을 점검하여 절연물 마모시 발생하는 파우더 발생여부를 점검하고 향후 정비계획이 필요하다.

4. 결론

발전소에서 10년 이상 사용한 고압전동기를 대상으로 TGA를 이용하여 운전중 부분방전을 측정된 결과 #A 전동기에 비해 #B 전동기에서 부분방전이 크게 발생함을 알 수 있었다. 또한 부분방전 패턴은 #A 전동기가 내부방전, #B 전동기는 슬롯방전으로 분석되었다. #B 전동기 A상 부분방전은 다른 권선에 비해 NQN과 최대 부분방전 크기가 높게 나타나고 슬롯방전 형태이므로 웬지 혹은 권선과 슬롯사이를 점검하고 절연보강 등의 조치가 필요한 것으로 판정되었다.

[참고문헌]

- [1] 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.
- [2] 전력연구원 "발전기 수명평가 및 진단시스템 개발 최종보고서" P8-15, 1997.
- [3] I. M Culbert, H. Dhirani, and G. C. Stone, Handbook to assess the Insulation Condition of Large Rotating Machines, EPRI, EL-5036, Vol. 16, pp. 3-25~3-28, 5-13~5-14, 1989.
- [4] 김희동, 이영준, 주영호 "수력발전기 고정자 권선의 운전중 부분방전 분석", 대한전기학회 고전압 및 방전응용기술/전기재료 연구회 춘계학술대회, pp., 2002.