

고전압회전기 고정자권선의 On-line 및 Off-line 부분방전시험 특성비교

오봉근, 김현일, 한창동, 백현순, 임기조*
한국수자원공사, *충북대학교

Comparison Of On-line and Off-line PD Testing For High Voltage Rotating Machine Stator Bar

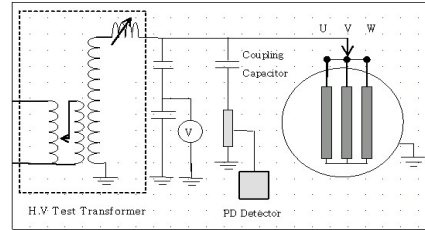
Bong-keun Oh, Hyun-Il Kim, Chang-Dong Han, Hyun-Soon Baek, Kee-Joe Lim*
K-water, *Chung-Buk National University

Abstract - 부분방전이 고체절연시스템에서 대부분의 절연고장과 관련된 징후를 알 수 있으므로 부분방전시험은 고전압회전기 고정자권선의 절연특성을 효과적으로 진단할 수 있다. 부분방전시험은 다른 고전압 절연시험법과는 다르게 고전압회전기가 운전중(On-line)인 상태와 정지중(Off-line)인 상태에서 모두 측정이 가능한 장점이 있다. 정지중 부분방전시험은 고정자권선 절연상태를 평가할 수 있는 잘 알려진 시험법이다. 최근에는 운전중 부분방전시험이 권선의 절연상태를 모니터링하는데 효과적인 방법으로 운영자에게 고장징후를 알려주고, 예측보전이 가능하도록 도움을 주고있다. 이 논문에서는 수력발전기에 설치되어 운영 중인 운전중 진단시스템의 각 상별 부분방전데이터를 바탕으로 정지상태에서 운전중 및 정지중 진단시스템을 이용하여 부분방전을 측정하고 시험결과를 분석하였으며, 운전중 시험과 정지중 시험의 유사성과 차이점을 확인할 수 있었다.

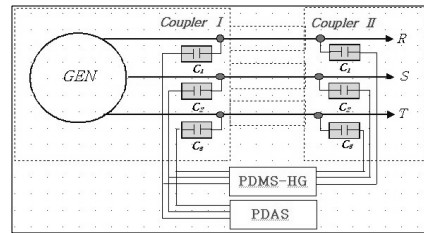
류는 2187A, 정격출력은 45MW이다. 현재 시험대상 발전기는 2005년 12월에 운전중 진단시스템을 설치하여 운영중에 있으며 발전기 기동후, 30분마다 부분방전을 측정하여 데이터를 저장하고 있다. 이 논문에서 수행하고자 하는것은 설치 후 현재까지 실시한 운전중 부분방전진단데이터를 근거로하여 정지상태에서 정지중 및 운전중 측정장비를 이용하여 부분방전을 측정하고, 실제 운전상태에서의 부분방전특성과 정지상태에서 측정된 부분방전 응답특성에 관하여 비교 분석해 보고자 한다.

1. 서 론

부분방전시험은 고전압회전기 절연열화를 진단하는 방법이다. 제작상의 결함이나 운전상태에서 복합적인 스트레스(열적, 전기적, 기계적, 환경적)에 의해 형성된 고정자권선 절연물의 보이드는 고전압하에서 부분방전이 발생하고, 이러한 부분방전의 진전은 고정자권선 절연열화의 지표가 될 수 있다. 절연파괴에 의한 고전압회전기의 고장은 설비에 치명적인 손상과 돌발정전에 따른 경제적인 손실이 매우 크게 된다. 부분방전 시험은 고정자권선절연의 상태를 평가할 수 있고 상태기준유지보수를 가능하게 한다. 부분방전시험은 운전중 및 정지중 측정이 모두 가능하다. 이 논문에서는 수력발전기 고정자권선에 대하여 정지중 진단장비와 운전중 진단장비를 이용하여 부분방전을 측정하였고, 정지중 진단장비의 정지중 부분방전특성, 운전중 진단장비의 정지중과 운전중 부분방전 특성을 비교하였다.



(a) 정지중 부분방전측정 회로



(b) 운전중 부분방전측정 회로

<그림 1> 부분방전 측정시스템 회로

2. 본 론

2.1 정지중(Off-line)과 운전중(On-line) 부분방전특성

부분방전의 운전중 측정방법과 정지중 측정방법에는 상반된 특성이 있다. 운전중 측정방법의 경우에는 운전상태에서 접촉식센서를 통하여 부분방전을 측정하기 때문에 정지중 시험에서 정격전압을 인가하는데 필요한 별도의 대용량 시험변압기가 불필요하고, 반복적으로 발전정지없이 절연상태를 관리할 수 있다. 또한, 운전상태에서 발생하는 모든 열화요인이 존재하는 조건에서 부분방전특성을 얻을 수 있지만, 주변 노이즈로 인한 문제는 현재까지 완벽하게 해결되고 있지 않다. 반면, 정지중 측정방법의 경우 노이즈의 영향을 받지 않으며, 부분방전의 발생위치를 코로나 측정기등을 이용하여 위치추적이 가능하고, 육안점검을 통한 권선의 정밀진단이 가능한 장점이 있다.

또한, 부분방전측정법은 사용하는 센서에 따라 접촉식과 비접촉식으로 구분할 수 있다. 본 논문에서는 고정자권선의 고압인출부에 센서를 설치하여 부분방전을 측정하는 접촉식센서에 의한 측정방법을 적용하였다. 그림1은 부분방전을 측정하기 위한 정지중 및 운전중 측정회로를 보여주고 있다. 정지중 부분방전측정시에 사용하는 접촉식센서는 커플링커패시터를 측정대상과 병렬로 설치하고 측정시스템을 통하여 부분방전을 측정하였다. 운전중 부분방전측정시에 사용하는 접촉식센서는 Directional 방식의 노이즈제거 기법을 적용하였으므로 발전기측과 계통측에 각 상별 2개씩 접촉식센서를 설치하여 부분방전을 측정하였다.

2.1.1 시험대상 설비특성

시험대상 설비는 약 25년간 운영된 수력발전기 고정자권선으로 절연등급은 F중으로 최고허용온도가 150℃이고, 정격전압은 13.2kV, 정격전

2.1.2 부분방전측정 장비

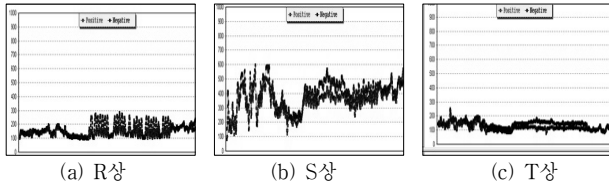
발전기 정지상태에서 측정된 정지중 부분방전진단시스템은 IEC60270 규격에 따라 10nF의 커플링커패시터와 디지털검출기(40-400kHz, Haefely Trench AG)를 이용하여 구성하였고, 정지상태에서 측정된 운전중 부분방전 진단시스템은 PDAS(Partial Discharge Acquisition System, Full AD 방식-100M SAMPs)를 사용하였고 접촉식센서는 시험대상 발전기에 사용중인 센서와 동일한 특성을 가지고 있는 150pF의 세라믹센서를 사용하였다. 발전기 운전상태에서 측정된 운전중 부분방전 진단시스템은 정지상태에서 측정된 장비인 PDAS를 그림1(b)와 같이 coupler I 센서측의 부분방전신호를 측정하였고, 현재 시험대상 설비에 설치운영 중인 Partial Discharge Measuring System - Hydro Generator(PDMS-HG)는 노이즈제거기법을 적용하기 위하여 coupler I, II를 사용하여 부분방전을 측정하였다[4].

2.1.3 정지중 부분방전측정

시험전압을 인가하기 위하여 별도의 대용량 시험변압기(20kV, 400kVA)를 이용하여 측정하였다. 시험전압은 상전압으로 9.5 kV에서 측정하였다. 상별 측정을 하기위하여 발전기 중성점을 분리하였으며, 한 상 측정시 나머지 두상은 접지를 하여 상간의 절연상태도 측정하였다. 정지중 진단시스템은 시험전압을 2분간 인가하면서 최대부분방전량, 부분방전갯수에 대한 위상분포특성을 측정하였다. PDAS는 120주기 동안 부분방전크기와 위상기준 부분방전분포 특성을 측정하였다.

2.1.4 운전중 부분방전측정

운전중 진단시스템은 현재 약 1년반이상 시험대상 발전기에 설치운영 중에 있으며, 발전기가 계통에 병입 후 매 30분마다 각 상별 부분방전크기를 측정하여 데이터베이스 서버에 저장하고 있다. 그림2에서 보는것과 같이 설치 후 현재까지 각 상별 부분방전크기의 변화는 미소하여 열화의 선진징후는 나타나지 않았다. 따라서, 최근 측정된 데이터를 이용하여 발전기 운전중에 측정된 각 상별 부분방전의 위상분포 특성을 알아 보았다.



<그림 2> 운전중 진단시스템 부분방전크기 경향분석

3. 결과 및 분석

3.1 진단시스템을 이용한 부분방전 측정결과

발전기 정지상태에서 정지중 진단장비와 PDAS를 이용하여 측정된 부분방전값과 운전상태에서 PDAS와 PDMS-HG를 이용하여 측정된 부분방전값을 표1에 나타내었다. 측정방법상 정지중 측정장비는 전하량의 단위인 pC으로 표시되고, PDAS와 PDMS-HG는 mV 단위로 표시되었다. 부분방전의 크기는 정지중 측정장비에서 R상과 S상이 유사하고, T상이 다소 적게 나타났다. 정지중 및 운전중 측정된 PDAS와 PDMS-HG는 S상이 R상과 T상에 비하여 비교적 크게 나타났다.

정지중 진단장비로 측정되는 최대부분방전량(pC)과 운전중 진단장비로 측정되는 부분방전크기(mV)는 측정주파수 대역 및 측정시스템이 다르기 때문에 절대적으로 비교하기는 어려웠다. 하지만, PDAS의 경우 정지상태 및 운전상태에서 모두 동일한 세라믹센서를 이용하여 측정된 결과 주변노이즈가 제거된 운전정지 상태에서 측정된 크기 및 위상기준 부분방전패턴이 발전기 운전상태에서 측정된 부분방전크기와 매우 유사하게 나타났다. 그리고, 노이즈제거 및 노이즈제거 기법을 적용한 PDMS-HG의 측정결과 부분방전발생위상은 다소 차이가 있지만, PDAS와 비교해 보면 부분방전 크기의 패턴은 매우 유사하게 나타났다.

표1. 최대부분방전량

측정조건	진단시스템	R	S	T
정지상태	정지중(pC)	18400	18400	11400
	PDAS(mV)	55	440	90
운전상태	PDAS(mV)	40	110	40
	PDMS-HG(mV)	120	300	120

2.1.1 Off-line 시스템 측정결과

그림 3의 (a)는 Off-line시스템을 이용한 위상기준 부분방전분포특성을 나타내었다. 시험전압에서 2분간 측정된 부분방전 특성을 나타내며 상단부는 최대부분방전량의 위상분포특성을 하단부는 부분방전횟수의 위상분포특성을 보여준다. 이러한 위상분포를 근거로하여 기존 논문에서 제안하고 있는 열화상태를 분석해 보면, R상의 경우 내부방전형태를 나타내고 있으며 S상과 T상의 경우 위상 0도 부근과 180도 부근에서 부분방전이 발생되어, R상에 비하여 권선의 열화가 좀더 진행된 것으로 나타났다.

2.1.2 PDAS 시스템 측정결과

그림 3의 (b)와 (c)는 PDAS시스템을 이용하여 정지 및 운전상태에서 측정된 위상기준 부분방전분포특성을 나타내었다. 그림(b)에서 모두가 발전기의 고압측 단자가 분리되고, 외부 시험변압기의 인가전압에 의해 측정상의 모든권선이 동일한 전압이 유지된 조건에서 측정된 정지상태의 부분방전패턴과 주변노이즈의 영향 및 복합스트레스가 존재하고, 측정상의 권선이 고압측부터 중성점까지 일정한 전압분포로 유지된 조건에서 측정된 운전상태 부분방전 패턴이 매우 유사하게 나타났다. 또한 부분방전의 크기도 약간의 차이는 있지만, S상이 크고 R상과 T상이 상대적으로 작게 나타났다.

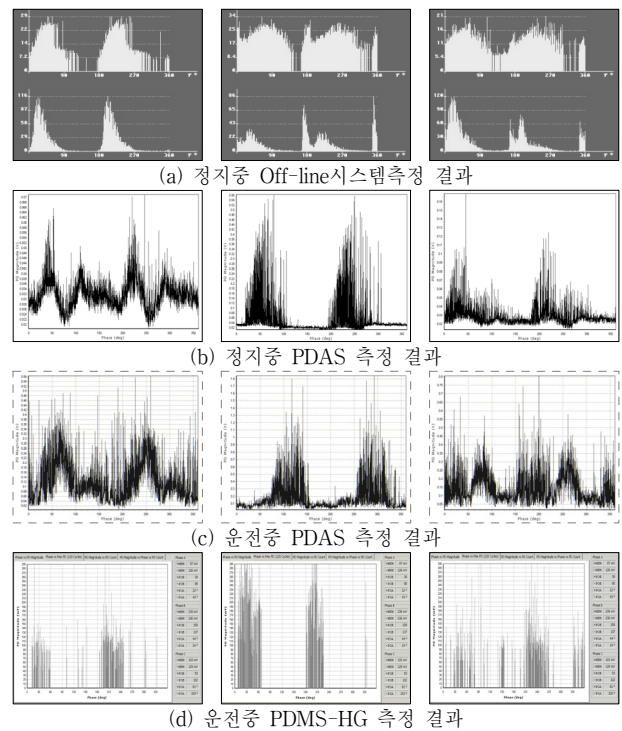
2.1.3 PDMS-HG 시스템 측정결과

그림 3의 (d)는 PDMS-HG 시스템을 이용하여 운전상태에서 위상기준 부분방전분포특성을 나타냈다. 이 장비는 현재 시험대상발전기에 설치되어 운영중에 있는 것으로 최근 측정된 각 상별 부분방전 데이터를 이용하였다. 노이즈 필터 및 Directional 방법으로 외부노이즈를 최소화하였다. 측정결과 S상이 다른상과 비교하여 상대적으로 큰 부분방전을 나타냈으며, 이것은 PDAS에서 측정된 결과와 유사하였다.

4. 결 론

현재 수력발전기 고정자권선에 설치되어 운영중인 운전중 부분방전진단시스템(PDMS-HG)과 고전적인 측정방법인 정지중 부분방전시스템, 그리고, 운전상태 및 정지상태에서 부분방전측정이 가능한 PDAS장비를 이용하여 발전기 권선의 각 상별 부분방전크기와 위상기준 부분방전특성을 분석하였다.

정지중 측정장비, PDAS, PDMS-HG의 측정결과를 절대적인 기준으로 비교하기는 측정환경이 다르기 때문에 다소 어려움이 있었다. 하지만, 정지중 및 운전중 부분방전특성을 동일한 장비로 측정된 PDAS의 경우 부분방전 크기뿐만 아니라, 위상기준 부분방전특성도 매우 유사하게 측정되어, 운전상태에서 측정된 부분방전신호의 신뢰성을 확인할 수 있었다. 그리고, 노이즈제거 기법을 적용한 PDMS-HG의 경우 PDAS와 비교해 볼 때 부분방전 발생위상이 다소 차이는 있지만, 부분방전의 크기는 매우 유사하게 나타났으며, 노이즈 제거를 통하여 좀더 정확한 부분방전특성을 보여주었다.



<그림 3> 부분방전 진단시스템 측정결과(좌측부터 R,S,T상)

[참 고 문 헌]

- [1] IEEE Std 1434-2000, "IEEE Trial-Use Guide to the Measurement of Partial Discharges in Rotating Machinery"
- [2] IEC 60270, "Partial discharge measurements", 1996.
- [3] I.M. Culbert, H. Dhirani and G.C. Stone, "Handbook to Assess the Insulation Condition of Large Rotating Machines, EPRI publication EL-5036, 1989
- [4] 강동식, 선종호, 황돈하, 윤영호, 신병철, 오봉근 "13 kV급 수력발전기 고정자권선용 On-line 부분방전 측정시스템 개발 및 현장적용 평가", 대한전기학회, 55C권 4호, pp. 189-198, 2006
- [5] H. Zhu, V. Green, D. Huynh, "Application of On-line versus Off-line PD testing for Stator Insulation Monitoring"