

수력 발전기 권선에서의 운전중 부분방전 측정기법

論 文
45~2~17

On-Line Partial Discharge Measurement Techniques of Hydro-Generator Windings

黃 敦 夏* · 金 鎭 峰** · 金 容 柱*** · 朴 明 洙[§] · 金 鐸 洙^{§§}

(Don-Ha Hwang · Jin-Bong Kim · Yong-Joo Kim · Myong-Soo Park · Taek-Soo Kim)

Abstract - In hydro-generator, a groundwall insulation of stator windings gradually deteriorates due to mechanical, thermal, electrical and environmental stresses. These stresses combine to result in loose windings, delamination of the stator insulation and/or electrical tracking of the endwinding, all of which can lead to stator insulation failures. Conventionally, off-line tests such as partial discharge measurement, DC/AC current and $\Delta \tan \delta$ tests has been used for estimation of winding condition. However, off-line test requires large power supply and generator outage. In addition, major cause of insulation problems such as loose wedges and slot discharges may not be found with off-line diagnoses. This paper introduces the on-line partial discharge measurement techniques using frequency spectrum analyzer(FSA) for the generator stator windings. The experimental results from the UIAM #1 hydro-generator confirms a optimistic application of on-line generator diagnosis method as a reliable tool for evaluation of winding condition.

Key Words : Hydro-Generator Stator Winding, Partial Discharge (PD), On/Off-Line Insulation Diagnosis, Partial Discharge Analyzer (PDA), Frequency Spectrum Analyzer (FSA)

1. 서 론

최근 전력수요의 증가에 따른 예비전력을 부족으로 인해 전력의 안정적 공급이 심각한 어려움에 직면하고 있는 상황에서 발전기의 안전운전과 정기적인 보수계획 수립을 위한 발전기의 절연진단은 매우 중요하게 인식되고 있다.

수력 발전기의 고정자 권선은 기동, 정지시 및 운전중에 기계적, 열적, 전기적 및 환경적 요인들이 복합적으로 작용하여 절연연화가 진행되며, 그 결과 슬롯방전(slot discharge)과 권선 말단 방전(endwinding discharge)과 같은 발전기의 수명에 치명적인 현상이 발생한다[1~3].

근래에 불시적인 운전정지와 고가의 권선교체 비용이 요구되는 심각한 절연과피가 발생하기 전에 고정자 권선의 상태를 평가하여 예방적인 유지보수를 수행하기 위한 발전기 진단법의 연구가 활발히 이루어져 왔다[2~8]. 이러한 권선연화의 진단법은 운전중 진단법과 정지중 진단법으로 구분되고, 각 경우에서의 여러 방법중 고정자 권선이 열화되었을때 발생하는 부분방전을 측정하여 절연상태를 판단하는 방법이 널리 이용되고 있

다[1~9].

정지중(off-line) 부분방전 측정법에서는 대응량의 외부전원과 발전기의 운전정지가 필요하고, 측정장치의 이동, 설치 및 측정에 많은 시간이 소요된다. 또한, 단상전압 인가로 인해 실제의 운전조건과 상이하므로 측정결과가 실제 운전상태의 결과와 일치하지 않을 뿐만 아니라 절연 문제점의 중요원인이 되는 웨지(wedge)이완, 슬롯방전 등이 검출되지 않는다.

이에 비해 운전중(on-line) 부분방전 시험에서는 권선을 여자시키기 위한 외부전원의 공급없이 자기여자에 의해 시험전압이 발전기 자체에서 발생하므로 실제의 운전상태에서 측정할 수 있게 되어 시험을 위한 발전기의 운전정지가 필요하지 않고, 삼상전압 인가에 의한 슬롯방전과 권선말단 방전 등의 다양한 종류의 방전이 측정가능하며, 시험장치의 설치 및 측정이 간단하게 된다. 그러나 운전중에는 저전압이 가해지는 증성점 부근에서 발생하는 부분방전의 측정이 어려운 단점이 있고, 여자와 전력계통 등으로 부터 유입되는 외부잡음 제거에 특별한 대책이 요구된다[1, 3, 6~8].

본 논문에서는 현재 상용화되어 전세계적으로 많은 수력 발전기에 적용되고 있는 permanent coupler와 부분방전 분석기를 이용한 운전중 부분방전의 측정과 절연진단 방법을 소개하고, 주파수 스펙트럼 분석기에 의한 새로운 운전중 부분방전 측정기법을 제시한다. 아울러 외부잡음 제거방법과 부분방전의 교정(calibration), permanent coupler의 주파수 특성에 관한 연구를 수행하고, 의암 수력 발전소 1호기를 대상으로 현장시험을 실시해서 정지중 시험법과의 비교를 통해 운전중 진단법의 신뢰성을 평가하고, 부분방전 크기의 변화를 분석하여 고정자 권선의 절연연화 상태를 판정한 결과를 제시한다.

* 正 會 員 : 韓國電氣研究所 發電機 診斷 研究팀 研究員

** 正 會 員 : 韓國電氣研究所 發電機 診斷 研究팀 前任研究員

*** 正 會 員 : 韓國電氣研究所 發電機 診斷 研究팀장 責任研究員

§ 正 會 員 : 韓國電力公社 電力研究院 前任研究員

§§ 正 會 員 : 韓國電力公社 電力研究院 責任研究員

接受日字 : 1995年 4月 17日

1次 修正 : 1995年 8月 30日

2次 修正 : 1996年 1月 10日

2. 운전중 부분방전 측정기법

2.1 PDA를 이용한 부분방전 측정기법

부분방전 분석기(Partial Discharge Analyzer:PDA)는 수력 발전기의 운전중에 고정자 권선에서 발생하는 부분방전을 측정함으로써 절연진단이 가능한 시스템으로서, 캐나다의 FES International Co.에서 개발되어 전세계적으로 많은 수력 발전기에 설치되어 운용되고 있다[8]. 이것은 부분방전 측정을 위한 센서로서 그림 1과 같은 permanent coupler(coupling capacitor)를 발전기 고정자 권선내의 ring bus나 IPB (Isolated Phase Bus)에 설치하고, 커플러로 부터 감지되는 부분방전 신호를 분석하여 권선의 절연상태를 판단할 수 있다.

그림 1의 정격 80pF, 25kV인 커플러와 680Ω 저항의 측정 임피던스 회로는 약 3MHz 이하의 cut-off 주파수를 가지는 high-pass filter를 이루게 되므로 60Hz 전압은 차단하고, 고주파인 부분방전 펄스만을 통과시키게 된다. 이러한 부분방전 펄스를 monitoring이 가능한 소프트웨어를 이용해서 PC와의 인터페이스에 의해 일정시간 동안 측정하므로써 고정자 권선에서 발생하는 부분방전 신호의 극성에 따른 크기와 갯수를 그림 2와 같이 나타내게 된다. 이와 같은 PDA system를 이용한 주기적인 측정을 통해서 최대 부분방전의 경향(trend)을 분석하여 고정자 권선의 절연연화 정도를 판단할 수 있다.

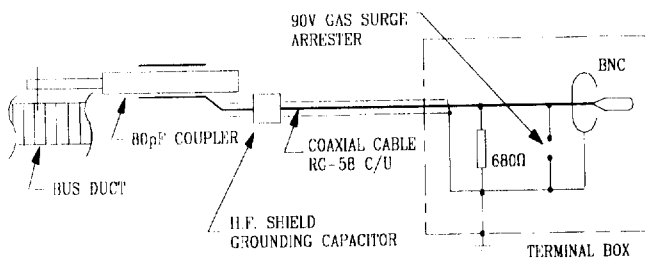


그림 1 Permanent coupler의 구성
Fig. 1 Configuration of permanent coupler

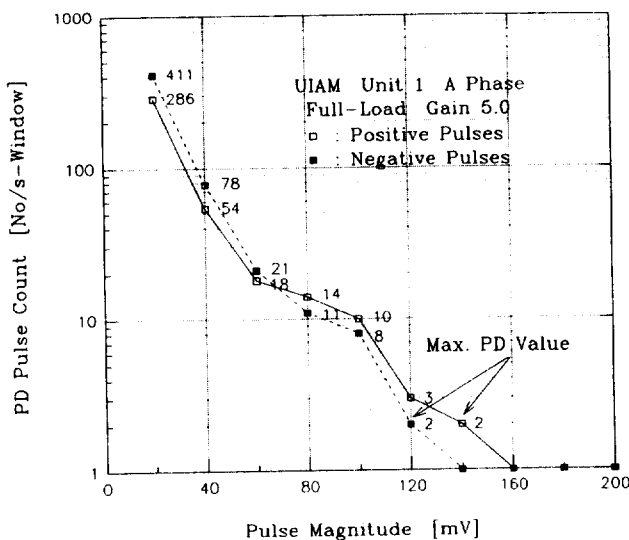


그림 2 PDA를 이용한 부분방전 측정결과의 예
Fig. 2 Example of PD measurement with PDA

2.2 FSA를 이용한 부분방전 측정기법

수력 발전기의 고정자 권선에서 발생하는 부분방전 펄스 신호는 일반적인 oscilloscope나 부분방전 측정기를 이용하므로써 시간영역에서 펄스의 크기와 형상을 관찰할 수는 있지만, 펄스의 갯수와 위상은 고가의 전용 부분방전 측정기에서만 가능하고, 측정 주파수 대역이 300kHz 이하의 저주파에 고정되어 있기 때문에 주파수 특성의 분석과 permanent coupler에서 전송되는 5MHz 이상의 고주파인 부분방전 신호의 측정이 불가능하다.

그러나 상용 주파수 스펙트럼 분석기(Frequency Spectrum Analyzer:FSA)를 일정 주파수 영역에서 span을 0Hz로 하여 사용하면 그림 3과 같이 부분방전 신호의 크기와 위상과의 관계를 관찰하게 한다[10, 11]. FSA의 이러한 사용은 주파수 스펙트럼 분석을 위한 일반적인 용도와는 다른 방법으로 시간 및 주파수 영역을 동시에 측정함으로써 고주파 성분의 부분방전 펄스를 빠른 속도로 측정하여 위상분포의 분석이 가능하고, 측정 주파수를 변경시켜 부분방전 신호의 주파수 특성을 분석할 수 있다.

본 연구에서는 50Hz~2.9GHz의 광대역 주파수 범위를 가진 HP사의 8560A 모델의 FSA를 사용해서 발전기의 전원 주파수에 포함된 부분방전 신호를 외부 트리거 모드에 의해 60Hz 전원 주파수와 동기시켜 측정함으로써 부분방전 펄스의 위상 및 주파수 특성을 분석하였다. 중심 주파수(center frequency:CF)와 대역폭 분해능(resolution band width:RBW)은 그림 1의 측정 임피던스 회로에서 부분방전 신호에 대한 응답특성이 가장 좋은 5~25MHz 주파수 대역으로 설정하고, 측정 주파수 span은 최소로 두어 화면상에 나타나는 spectrum이 거의 중심 주파수로 간주할 수 있도록 하기 위해 span을 "0"으로 설정하여 측정하였다.

2.3 외부잡음의 제거방법

발전기의 운전중에는 고정자 권선 내부에서 발생하는 부분방전 외에도 여자기(exciter)에서의 switching surge, 출력 bus에서의 arcing, 변압기에서 발생하는 부분방전, 전력계통(power

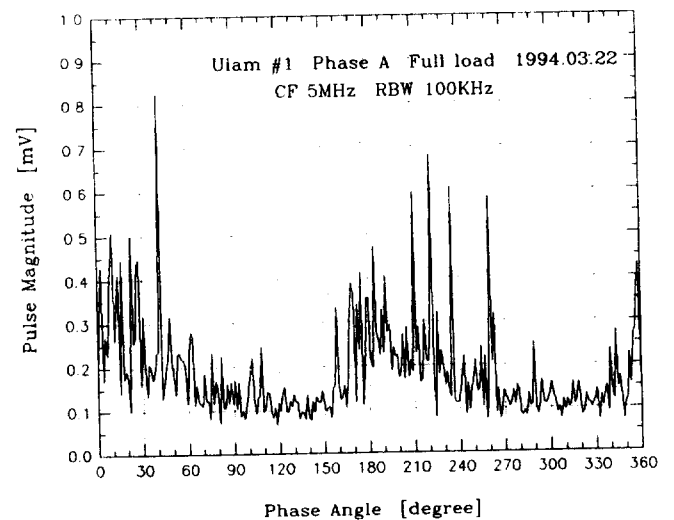


그림 3 FSA를 이용한 부분방전 측정결과의 예
Fig. 3 Example of PD measurement with FSA

system) 등으로 부터 유입되는 전기적인 외부잡음이 상당히 많이 발생하므로 이를 제거하는 것이 무엇보다도 중요하다.

본 연구에서는 그림 4와 같이 발전기의 링부스나 IPB 말단부에 2개의 커플러를 부착하고 차동증폭기의 특성을 이용해서 전송시간차 개념에 의한 time-of-flight 방식으로 외부잡음을 제거하였다. 이때 동축 케이블(coaxial cable)의 펄스 전송속도(0.2m/ns)가 링부스(또는 IPB : 0.3m/ns)의 약 65%인 점을 고려해서 신호추정 케이블의 길이를 외부잡음이 제거될 수 있도록 그림 4와 같이 조정하였고, 외부에서 발생한 잡음은 2개의 부스로 각각 분리 전파되어 동시에 같은 신호가 분석기(PDA)에 도달한다. 이때 외부잡음은 광대역의 차동증폭기를 이용하여 크기는 같고 극성만 다른 신호로 만들어 서로 상쇄시킴으로써 제거된다. 반면에, 고정자 권선에서 발생한 부분방전 펄스는 IPB를 통해 C1과 C2의 커플러로 전파된다. C1으로 전파된 부분방전은 시간지연이 되어 신호크기가 차동증폭기에서 합성되면 그림 4와 같은 형태의 전압펄스가 되어 PDA에서 측정된다.

그러나 실제 permanent coupler를 통해서 전송되는 발전기 전원전압 파형을 분석해 본 결과, 외부잡음은 거의 포함되어

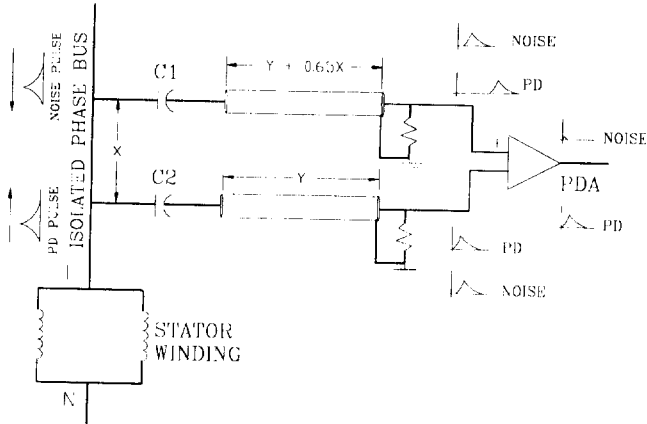


그림 4 커플러와 동축 케이블의 회로도
Fig. 4 Configuration of coupler and coaxial cable

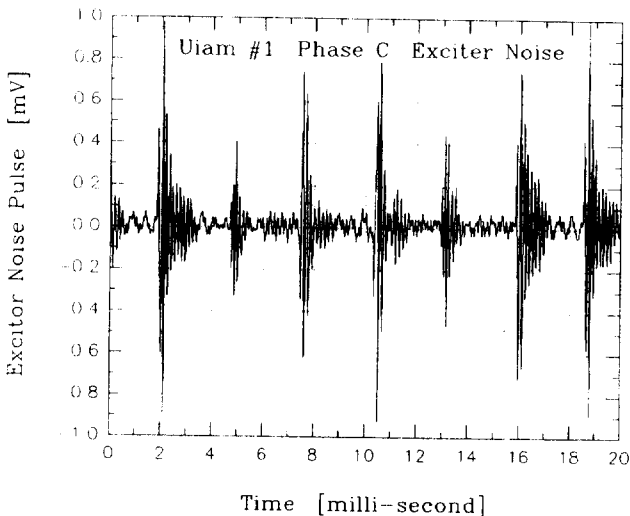


그림 5 Static 여자기에서 발생하는 외부잡음
Fig. 5 External noise from static exciter

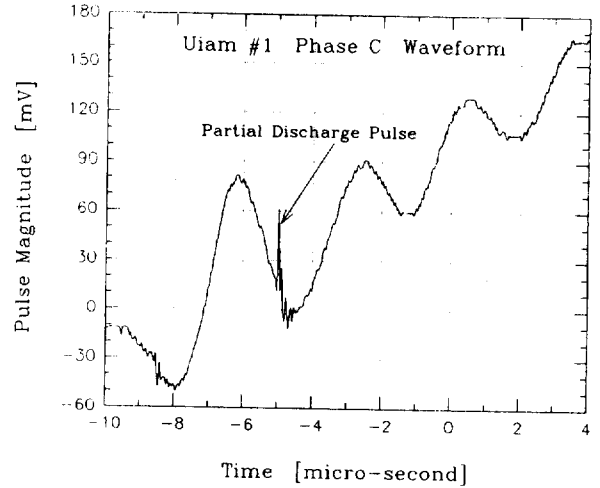


그림 6 Static 여자기 잡음에 포함된 부분방전 펄스
Fig. 6 PD pulse containing static exciter noise

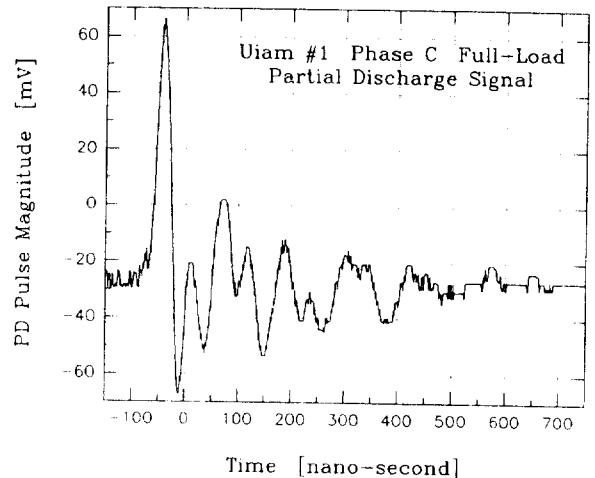


그림 7 고정자 권선에서 발생한 부분방전 펄스
Fig. 7 PD pulse in stator windings

있지 않았고, 다만 static 여자기에서 발생하는 200kHz대의 스위칭 서지만이 그림 5와 같이 크게 측정됨을 확인하였다.

또한, 그림 6은 여자기 잡음에 포함되어 있는 실제 부분방전 펄스를 나타낸 것이고, 그림 7은 부분방전 파형만을 정밀하게 측정된 것으로서 발전기 고정자 권선에서 발생하는 부분방전의 주파수는 대체적으로 5~15 MHz 대역임을 알 수 있었다.

따라서 측정 주파수 대역을 임의로 선정할 수 있는 FSA를 이용하여 부분방전을 측정하면, 실제 부분방전의 주파수와 동일한 대역(5~15 MHz)을 중심 주파수로 선정함으로써 5MHz 이하의 외부잡음을 근본적으로 제거시킬 수 있고, 커플러를 1개만 사용하여도 잡음제거가 가능하다.

3. 시험 및 고찰

3.1 시험장치 및 방법

PDA와 FSA를 이용한 수력 발전기 고정자 권선에서의 부분

방전 측정을 위해 본 연구에서는 용량 25MVA, 전압 11kV, 단권 권선방식인 의암 수력 발전소 1호기에 대한 현장시험을 수행하였다.

그림 8은 고정자 권선에서 PDA와 FSA를 이용한 운전중 부분방전 측정방법의 개략도를 나타낸 것으로서, 발전기 내부의 출력권선과 외부 인출단자에 permanent coupler를 한쌍씩 각상마다 설치하고, 커플러의 각쌍은 PD 신호가 C1 및 C2 커플러를 통해 PDA에 동시에 도달하여 증폭에 의한 신호왜곡을 방지할 수 있도록 최소 4m 이상 분리시켰다. 동축 케이블은 커플러의 저전압측에 접속되고 단자함(terminal box)에 conduit(선거)로 연결된다. 고주파 접지 커패시터는 동축케이블과 커플러에 가까운 접지간에 연결된다. 이것은 인접한 동축 케이블간의 신호간섭을 감소시키고, 단자함에서 신호의 감도를 높이고 신호대잡음(S/N)비를 증가시킨다[5]. 동축 케이블의 길이는 계통에서 유입되는 외부잡음을 제거하기 위해 그림 4와 같이 조절하였다. 신호 케이블은 그림 1에 나타낸 바와 같이 680Ω,

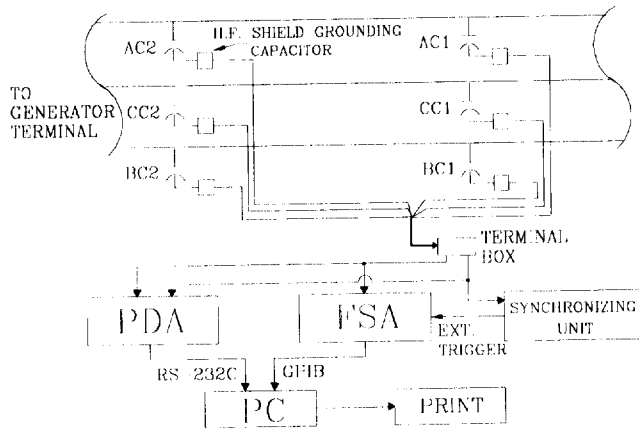


그림 8 고정자 권선에서의 부분방전 측정 회로도
Fig. 8 Configuration of PD measurement in the stator windings

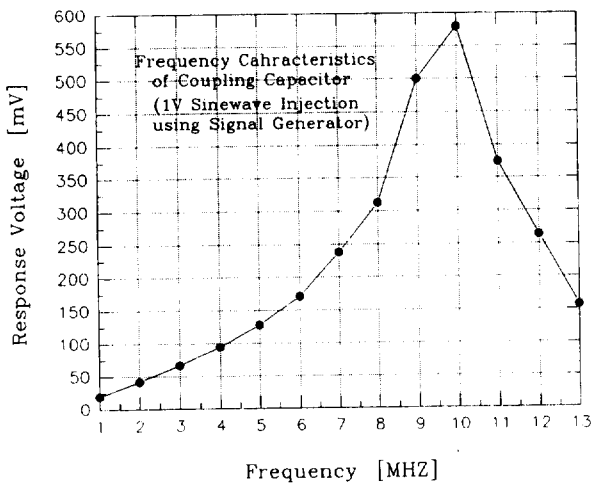


그림 9 Permanent coupler의 주파수 응답특성
Fig. 9 Frequency response characteristics of permanent coupler

0.5W 저항과 90V 가스 서지 피뢰기를 병렬로 연결한 단자함에 결합시켰고, 단자함은 신호감쇠 방지를 위해 커플러와 가까운 측이 편리한 발전기 외함에 영구적으로 설치되었다.

발전기의 운전중에 단자함으로 부터 동축 케이블로 연결된 PDA와 FSA에서의 모든 부분방전 측정은 그림과 같이 휴대용 컴퓨터와의 인터페이스에 의해 이루어지고, 발전기 전원전압과의 동기를 위해 FSA는 외부 트리거 방식을 이용하였다.

3.2 Permanent coupler의 주파수 특성

본 연구에서 부분방전을 측정하기 위해 사용하는 정격 80pF, 25kV의 permanent coupler인 coupling capacitor의 주파수 응답 특성을 조사하였다. 커플러의 입력단자에 주파수를 1~13 MHz로 가변시킨 파고치 1V인 신호 발생기의 정현파 신호를 직접 주입하고, 그 출력파형을 HP-54510A, 1 Giga Samples/sec, digitizing oscilloscope로 측정하여 그림 9와 같은 결과를 얻었다. 응답전압(response voltage)의 크기는 파고치 전압이고, 그림에서 보는 바와 같이 커플러는 10MHz에서 신호의 응답특성이 가장 높았으며, 1 MHz에서 가장 낮았다. 따라서 permanent coupler가 발전기 고정자 권선에서 발생하는 빠른 상승시간의 고주파 성분(5~15 MHz)인 부분방전 펄스의 측정에 적합함을 알 수 있다.

3.3 정지중 시험법과의 비교

의암 수력 발전소 1호기에 설치한 커플러에서의 PDA와 자체 개발한 FSA를 이용한 운전중 부분방전 측정기법에 대한 신뢰성을 평가하기 위해 발전기가 정지중인 상태에서 Tettex사의 Schering Bridge를 이용한 tan δ 시험과 Robinson사의 상용 PD detector를 이용한 부분방전 측정결과를 PDA와 FSA에 의한 측정결과와 상호 비교분석하였다.

정지중인 상태에서 PDA로 측정한 최대 부분방전 크기와 tan δ 값의 비교를 나타내는 그림 10을 보면, PDA에 의한 각상의 PD 크기와 tan δ 값은 측정전압이 증가함에 따라 모두 증가함을 알 수 있다. 또한, 권선의 절연상태를 비교적 잘 나타내는 정격전압(6.3kV) 이상의 측정전압에서는 tan δ와 PD가

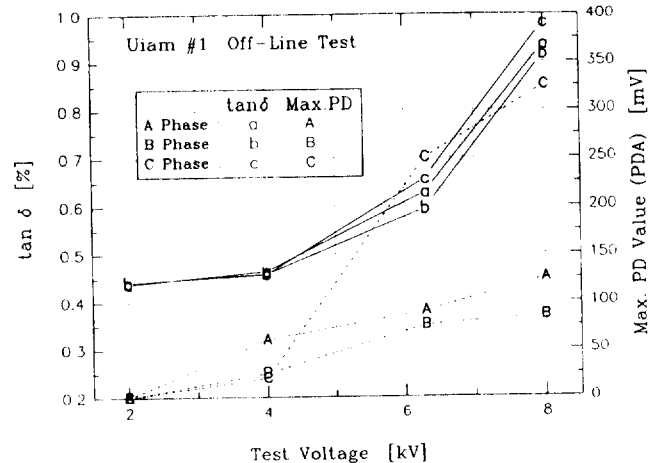


그림 10 PDA의 최대 부분방전 크기와 tan δ 값의 비교
Fig. 10 Comparison between tan δ and max. PD value

동일하게 $B < A < C$ 상의 크기이므로 상호연관이 있음을 보여주고, C상의 절연상태가 상대적으로 가장 나쁜 것을 알 수 있다. 특히, $\tan \delta$ 값이 가장 큰 C상의 경우에는 PDA로 측정된 PD 값이 325mV로 다른 상보다 상당히 크게 측정되었다. 일반적으로 권선이 열화의 정도가 전체적으로 균일할 경우에는 $\tan \delta$ 와 부분방전의 크기가 비례하지만, 국부적인 열화지점이 존재할 경우에는 비례하지 않고 부분방전이 더 민감하게 측정되므로 부분방전이 크게 측정된 C상에는 국부적인 열화지점이 존재한다는 것을 알 수 있다[12].

표 1과 그림 11은 Robinson사의 상용 PD detector와 PDA 및 FSA를 이용해서 정지중인 상태에서 고정자 권선에서 발생하는 부분방전을 측정하여 비교한 것을 나타낸다. 표 1에서 각 상의 인가전압에 따른 부분방전 측정기와 PDA 및 FSA에서 측정된 부분방전 크기의 증가율은 유사하고, 3가지의 측정치가 모두 그림 10의 $\tan \delta$ 와 동일한 크기의 순서를 나타내고 있다.

뿐만 아니라 그림 11에서는 각각의 기기에서 측정된 최대 부분방전량의 관계를 나타내고 있는 것으로서, PD detector의 최대 부분방전량(pC)과 PDA 및 FSA에서 측정된 부분방전의 최대값(mV)은 상호 연관이 있으며, 특히 FSA의 측정값이 PD detector와 더 밀접한 비례관계가 있음을 보여준다. 이것은 발전기 고정자 권선이 분포회로이므로 측정기기의 주파수 범위에 따라 측정값이 변해야 하지만, 부분방전이 주로 발생하는 고압부 권선만을 생각하면 측정기기의 주파수에 관계없는 집중회로

표 1 PD detector와 PDA, FSA의 측정결과

Table 1 Test results of PD detector, PDA and FSA

Phase	인가전압 [kV]	PD Detector [pC]	PDA [mV]	FSA [mV]
A 상	6.3	5,500	90	0.40
	8	13,000	125	0.69
B 상	6.3	3,000	75	0.30
	8	5,000	85	0.38
C 상	6.3	7,500	250	0.55
	8	20,000	325	1.15

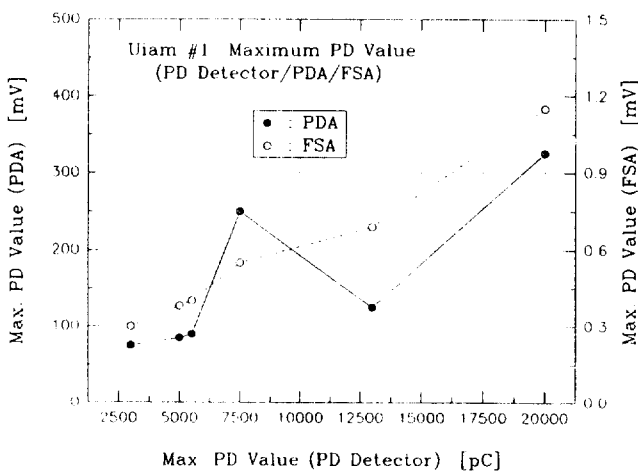


그림 11 부분방전 측정기와 PDA 및 FSA간의 최대 부분방전값의 비교

Fig. 11 Maximum PD Value compared PD Detector and PDA/FSA

로 해석할 수 있으므로 주파수 대역이 300kHz 이하인 PD detector와 고주파 대역에서 측정되는 PDA/FSA의 측정값은 서로 비례함을 알 수 있다.

또한, 부분방전이 불규칙적으로 발생하기 때문에 single channel analyzer를 이용하여 일정한 크기별로 불연속적으로 측정하는 PDA보다 위상에 따른 부분방전의 크기와 갯수를 연속적으로 측정하는 FSA가 부분방전의 발생상태를 더 잘 나타냄을 알 수 있다.

3.4 PDA와 FSA의 calibration 결과

PDA와 FSA를 이용해서 부분방전을 측정하게 되면 부분방전의 크기가 전압의 단위(mV)로 나타나기 때문에 일반적으로 절연열화의 판정기준으로 사용되는 최대 부분방전량(pC)으로의 교정(calibration)이 필요할 경우가 있다. 이러한 교정은 IEC 규격에서 요구되는 100nsec 이하의 상승시간(rising time)을 갖는 교정신호를 주입하여 mV에 상응되는 값을 pC으로 변화시켜 교정할 수 있다[13].

본 연구에서는 permanent coupler와 연결돼 있는 발전기 고정자 권선에 10nsec의 상승시간을 가진 펄스신호를 100pF의 injection capacitor를 통해 직접 주입함으로써 부분방전의 크기 calibration을 수행하였고, 그 결과 PDA의 1mV는 30~60pC, FSA의 0.1mV는 1,000~2,000pC임을 확인하였다. 표 1에 나타난 부분방전의 크기도 이 교정결과와 유사함을 알 수 있다. 이때 PDA와 FSA의 최대 부분방전 크기는 최대 부분방전의 갯수가 10개 이상인 것을 기준으로 하였고, FSA의 중심주파수(CF)는 10MHz, span은 0Hz, 그리고 RBW는 100kHz로 설정하였다.

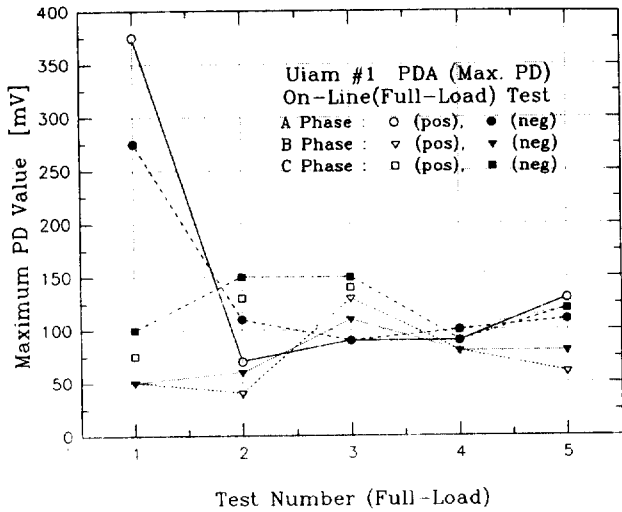
3.5 운전중 진단결과

본 연구에서는 의암 #1 수력 발전기에 permanent coupler를 설치한 후 현재까지 PDA는 5회(1차:'92.12.27, 2차:'93.3.10, 3차:'93.5.20, 4차:'93.10.19, 5차:'94.3.8), FSA는 4회의 운전중 부분방전 측정을 수행하였고, 5차 측정직후에는 정지중 측정도 1회 수행하여 고정자 권선의 절연상태를 각상별로 다음과 같이 판정하였다.

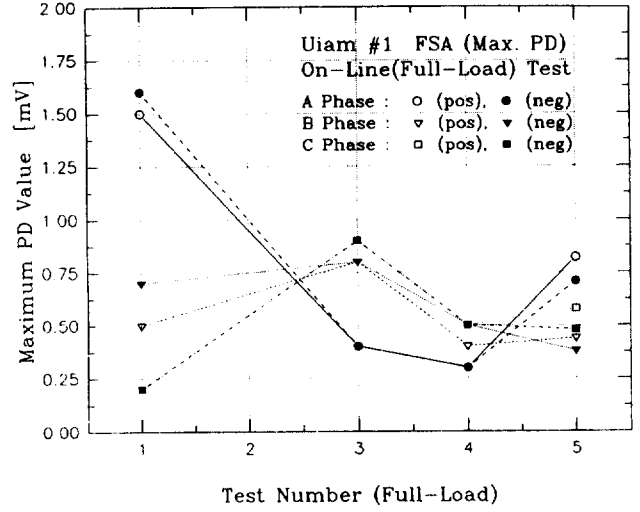
그림 12와 그림 13에서 보는 바와 같이 B상은 운전중과 정지중 진단시의 측정값이 비슷한 수준이며, 운전중 측정시에도 부하의 증감에 따른 측정값이 변하지 않았으므로 절연상태가 양호한 것으로 판단되었다.

C상의 경우는 정지중 측정값이 무부하로 운전중인 상태에서의 측정값보다 큰 것을 볼 수 있고, 이것은 운전중인 상태에서는 저전압이지만 정지중 시험시 고전압이 가해지는 중성점 부근에서 국부적으로 손상된 지점이 존재하거나, 정극성의 값이 부극성의 값보다 크기 때문에 정지중 측정시 회로 결선상의 금속 모서리에서 발생한 코로나 방전으로 판단된다. 따라서 발전기 운전중에는 부분방전이 발생하지 않아 절연상태는 양호하다고 판단된다.

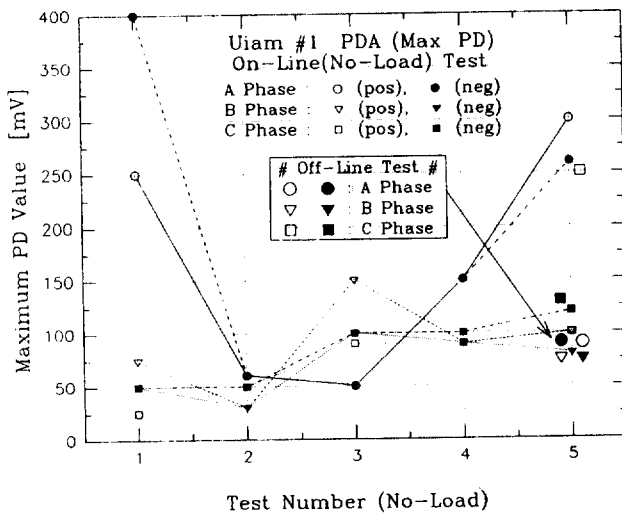
A상의 경우에는 커플러 설치 및 발전기 웨지 교체 공사후 처음 측정된 1차 진단시에 상당량의 PD가 발생하여 주기적인 측정을 계속하였으나, 2차 및 3차 진단시에는 PD의 발생이 약화되었다. 4차 진단시험부터는 부하에 따라 PD의 크기가 변하였으며, 5차 측정시에는 부하에 따른 PD 크기의 변화가 심화



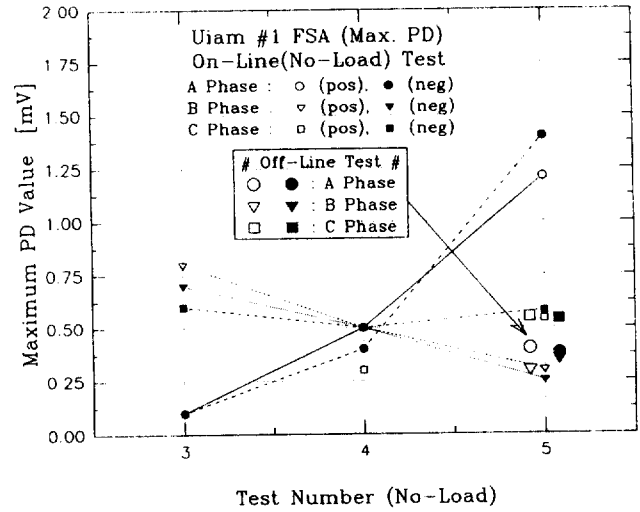
(a)



(a)



(b)



(b)

그림 12 의암 #1 수력 발전기의 PDA 측정결과
(a) 전부하시 (b) 무부하시

Fig. 12 PDA test result of UIAM #1 hydro-generator
(a) full-load (b) no-load

그림 13 의암 #1 수력 발전기의 FSA 측정결과
(a) 전부하시 (b) 무부하시

Fig. 13 FSA test result of UIAM #1 hydro-generator
(a) full-load (b) no-load

되어 운전중 측정시 무부하 상태에서의 최대 부분방전의 크기가 전부하 상태보다 약 2.5배 이상 크게 측정되었다. 이것은 고압부 권선이 tangential 방향으로 진동하기 때문에 발생하는 것으로 side packing 이완, 고정자 권선과 철심(core)간의 접촉저항 증대, 그리고 고정자 철심면의 부식이나 불균일 등이 원인인 것으로 추정된다. 또한, 1차 측정결과가 크게 나온 것은, 커플러 설치시 고정자 권선의 절연물을 완전히 제거하고 커플러를 설치한 후 다시 절연보강 작업을 수행함으로써 보강 절연물의 안정화가 이루어지지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 대형 발전기 권선의 절연진단 및 수명평가를

위한 기초적인 연구로서 수력 발전기 고정자 권선에서 발생하는 부분방전을 기존의 PDA와 본 연구에서 개발된 FSA를 이용해서 운전중에 측정할 수 있는 기법을 제시하였고, 의암 수력 #1 발전기에서의 현장시험을 통해 제시한 운전중 부분방전 측정법에 대한 신뢰성을 평가하고 권선의 절연상태를 진단하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) PDA와 FSA를 이용한 운전중 부분방전 측정기법은 발전기의 정지없이 고정자 권선에서 발생하는 부분방전을 항상 측정할 수 있고, 부하상태에 따른 부분방전 크기, 극성 등을 분석하여 권선의 절연열화 정도를 판단할 수 있다.

(2) 정지중 진단법에서의 측정값인 $\tan \delta$ 와 부분방전 최대치는 각각 PDA와 FSA에서 측정된 최대 부분방전의 크기에 대해 체적으로 비례하였고, 고압부에서의 국부적인 열화와 권선의

전체적인 열화정도를 판정할 수 있음을 확인하였다.

(3) 제시한 FSA를 이용한 운전중 측정기법은 부분방전의 calibration이 가능하여 부분방전의 크기를 pC으로 환산할 수 있다.

(4) 부분방전의 측정을 위한 permanent coupler의 주파수 특성은 10MHz 부근에서 응답특성이 가장 양호하였고, 따라서 FSA를 이용하여 고주파인 부분방전 펄스의 측정에 적합함을 알 수 있었다.

(5) 본 연구에서 제시한 FSA를 이용한 부분방전 측정기법은 부분방전 신호의 크기, 갯수, 위상 분포를 알 수 있을 뿐만 아니라 측정 주파수 대역이 광범위하므로 주파수 특성의 분석도 가능하다.

(6) FSA와 커플러 1개만을 이용해서 5MHz 이하의 static exciter, power system 등에서 유입되는 각종 외부잡음이 근본적으로 제거되어 순수 부분방전 신호만을 측정할 수 있다.

그러므로 향후 수력 발전기의 권선 절연상태를 진단하는 데 있어 본 논문에서 제시한 PDA와 FSA를 이용한 운전중 부분방전 측정기법의 확대적용이 기대되고, 발전기 고장자 권선의 절연열화에 대한 판정기준의 확립을 통해서 향상된 발전기 진단 시스템을 개발할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] G. C. Stone, "Practical Techniques for Measuring PD in Operating Equipment", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 7, No. 4, pp. 9~19, July/August 1991.
- [2] I. M. Culbert, H. Dhirani and G. C. Stone, "Handbook to Assess the Insulation Condition of Large Rotating Machines", EPRI Publication EL-5036, Vol. 16, June 1989.
- [3] 한전 기술연구원 발전연구실, 한국전기연구소, "발전기 Stator 수명예측 및 절연진단에 관한 연구(최종보고서)", 한국전력공사 기술연구원, 1992. 11.
- [4] A. Wilson, R.J. Jackson, "Discharge Detection Techniques for Stator Windings", IEE Proceedings, Vol. 132, Part B, No. 5, pp. 234~244, September 1985.
- [5] Y. McNicoll, R. Ross, R. Tremblay, C. Major, "Improvement in the Measurements of Partial Discharges in Hydrogenerators through High-Frequency Grounding of Couplers", Conf. Record of the 1990 IEEE Int. Symp. on Electrical Insulation, pp. 383~387, June 3-6, 1990.
- [6] G. C. Stone and S. R. Campbell, "Digital Methods of Eliminating Noise in On-Line Generator Partial Discharge Measurements", IEEE Winter Power Meeting, Panel Session on Digital Techniques for Generator PD Testing, February, 1992.
- [7] Vince Green and Vasile Stan, "Experience with In-Service Monitoring using Both New and Old PD Instruments", Third CEA/Ontario Hydro Conference on PD Testing, April, 1994.
- [8] 황돈하, 김진봉, 김용주, 박명수, 김택수, "수력 발전기의 운전중 부분방전 측정기법에 대한 신뢰성 평가", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1526~1529, 1994. 7.
- [9] Wilfried Hutter, "Partial Discharge Detection in Rotating Electrical Machines", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 8, No. 3, pp. 21~32, May/June 1992.
- [10] Hewlett-Packard Co., "HP 8560A Spectrum Analyzers - Operating and Programming Manual", pp. 2-3~77, 1990.

- [11] Hewlett-Packard Co., "Spectrum Analysis - Application Note 150-1 : Amplitude and Frequency Modulation", pp. 2~10, January 1989.
- [12] 池田易行, 深川裕正, "合成 レジン 絶縁 發電機 捲線の 絶縁劣化 判定法", 日本 電力中央研究所 研究報告:W88046, 1989. 6.
- [13] H.G. Sedding, "The Partial Discharge Calibration Problem in Rotating Machines", IEE Panel Session on Digital Techniques for PD Measurement on Rotating Machines, 92 THO 425-9 PWR, pp. 24~28, 1992.

저 자 소 개



황 돈 하 (黃 敦 夏)

1969년 2월 10일생. 1991년 영남대 전기공학과 졸업. 1993년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993-1996년 현재 한국전기연구소 발전기 진단 연구팀 연구원



김 진 봉 (金 鎭 峰)

1958년 7월 17일생. 1981년 고려대 기계공학과 졸업. 1985년 부산대 대학원 기계공학과 졸업(석사). 1992년 고려대 대학원 기계공학과 졸업(박사). 1982년 한국전기연구소 입소. 1996년 현재 한국전기연구소 발전기 진단 연구팀 선임연구원



김 용 주 (金 容 柱)

1953년 11월 12일생. 1975년 서울대 전기공학과 졸업. 1984년 미국 R.P.I. 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1979-1988년 한국전기연구소 책임연구원. 1988-1993년 한국전기연구소 전력기기연구실장. 1993-1996년 현재 한국전기연구소 발전기 진단 연구팀장



박 명 수 (朴 明 洙)

1959년 12월 20일생. 1986년 대전공업대 전기공학과 졸업. 1986-1988년 국방과학연구소 연구원. 1989년 한국전력공사 입사. 1996년 현재 한국전력공사 전력연구원 전력연구실 선임연구원



김 택 수 (金 鐸 洙)

1949년 5월 25일생. 1987년 서울산업대 전기공학과 졸업. 1992년 충남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1971년 한국전력공사 입사. 1996년 현재 한국전력공사 전력연구원 전력연구실 책임연구원