

## 원자력발전소 전력케이블 부분방전 진단 사례

한성흠, 주광호, 하체웅  
원자력발전기술원

### PD Diagnosis of Power Cables for Nuclear Power Plant

Sung-heum Han\*, Kwang-ho Joo, Che-wung Ha  
Nuclear Engineering & Technology Institute

**Abstract** - 1980년대 건설된 국내 원자력발전소는 30년 정도의 운전 년수를 기록하고 있다. 가동연한의 증가에 따라 원자력발전소에 설치되어 있는 전력케이블은 열화진단 및 유지보수의 필요성이 증대되고 있다. 주기적 안전성 평가(Periodic Safety Review) 및 계속운전과 관련하여서도 고압케이블의 관리방안이 지속적으로 요구되고 있다. 본 논문에서는 원자력발전소에 설치되어 있는 13.8kV 고압케이블의 건전성을 확인하기 위하여 국내 최초 원자력발전소 운전 중 부분방전 진단을 수행하였다. 특히 측정장비별 특성 및 신뢰성을 제고하기 위하여 Techimp사의 PD-Base I 장비와 OMICRON사 MPD600 장비 두가지를 가지고 케이블 부분방전(Partial Discharge; PD)열화진단을 수행 하였고 결과를 비교하였다.

#### 1. 서 론

국의 원자력발전소에 설치되어 있는 고압케이블의 사고 유형을 조사하여 분석한 결과 절연체 내부의 초기 결함이나 시공 불량에 의한 초기 고장이 대부분이지만, 사용 년수 증가에 따른 전기적, 기계적, 열적 스트레스 및 방사능 조사에 의해 케이블 경년열화가 증가하고 있어 사고 가능성 또한 증가하고 있다. 국내 원자력발전소에도 노후 케이블이 증가하는 추세에 있으며 이에 따라 진단에 대한 필요성도 크게 대두 되고 있다.

고압케이블의 경우, 열화진단으로서 가장 신뢰할 수 있는 방법은 보이드나 전기트리 개시 또는 진전될 때 발생하는 부분방전 측정이지만, 그동안 원자력발전소 실 선로 에서는 발전소 정지 위험, 측정감도 및 설비적인 문제로 적용이 어려웠다. 그러나 최근 산업계에서는 고주파 신호 처리기술과 감지 기술을 적용한 부분방전 측정기술로 측정감도를 획기적으로 향상시켰다. 고주파 부분방전 측정(HFPD: High Frequency Partial Discharge Measurement)법으로 불리는 이 기술은 수~수백 MHz 대역의 주파수 영역에서 부분방전을 측정하는 기술로서[1,2], 국내외적으로 초고압 선로의 준공시험과 노후 선로 진단에 적용되고 있다 [3]. 또한 이러한 HFPD 측정기술은 선진 외국에서는 배전 케이블 진단에도 적용 사례가 증가하는 추세에 있고 국내에서도 송전케이블 진단에 적용했던 측정기술을 배전케이블 및 접속함 진단에 적용하여 수차례 부분방전을 검출하였고 사고를 미연에 예방하였다.

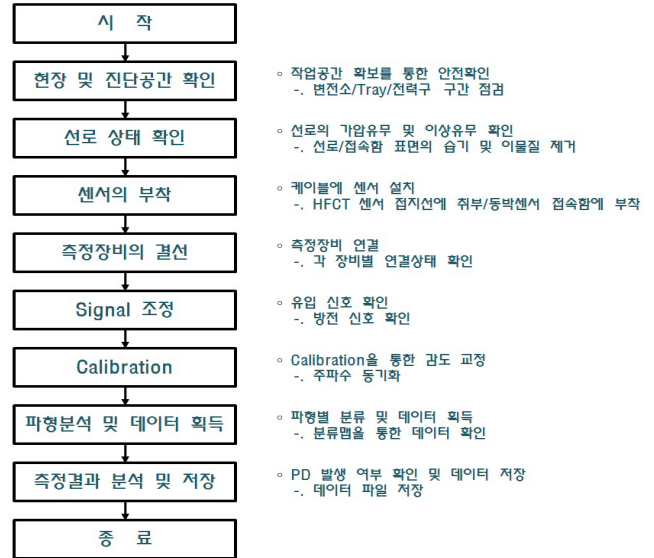
본 논문에서는 국내 00원자력발전소의 Circulating Water Pump #57, #58 13.8kV 3상 2회선을 Techimp PD-Base I와 OMICRON MPD600장비를 사용하여 PD 측정하였다. 측정 목적은 계획예방정비 기간 중 PD 실측을 위한 사전 현장 파악, PD 측정시 문제가 될 수 있는 노이즈 감도 체크 및 케이블 PD 발생 여부 검증에 중점을 두었다.

#### 2. XLPE 케이블/접속함 PD 측정절차 및 방식

##### 2.1 PD 측정절차 및 규정

일반적인 PD 측정 절차는 그림 1과 같다. 원자력발전소의 고압케이블(XLPE 케이블) PD 측정은 그림 1과 같은 PD측정 절차를 준용하고 아래와 같이 측정감도를 유지하여 측정한다.

- 4.16 kV 및 13.8kV 케이블 : 20pC 이하 양호



<그림 1> PD 측정절차

##### 2.2 PD 측정방식

PD 측정은 활성 상태의 Circulating Water Pump #57, #58 13.8kV 3상 2회선을 대상으로 Techimp 장비와 Omicron 장비를 사용하여 교차 검토하였다. 센서는 두 장비 모두 HFCT를 사용하였으며, 그림 3과 같이 HFCT를 접지선(철드선)에 상별로 체결하여 측정을 수행하였다. 그림 2 (a)는 Techimp社 장비인 PD Base I의 HFCT 2개를 Calibration을 수행하기 위하여 케이블 본선 중 한 상에 연결한 모습이며, 동일한 방식으로 각 상별 감도를 체크하였다. 동기신호를 획득하기 위하여 HFCT 상부에 로고 스키 코일을 설치하였다. 그림 2 (b)는 Omicron社 장비인 MPD 600의 HFCT를 케이블의 접지선에 연결한 모습이며, MPD 600의 통합제어 장치인 MCU 502의 광전소자를 사용하여 소내의 형광등으로부터 동기신호를 받는다.



(a) PD Base I

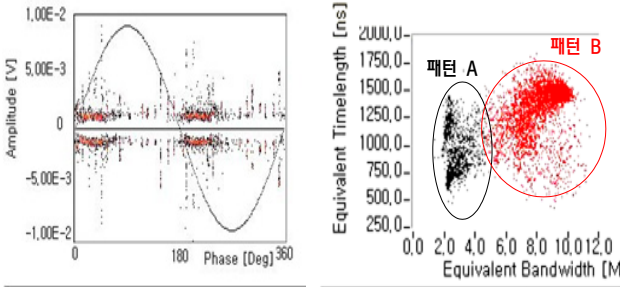
(b) MPD 600

<그림 2> 측정장비 HFCT 및 동기신호검출기 연결(판넬후면)

### 3. PD 측정결과

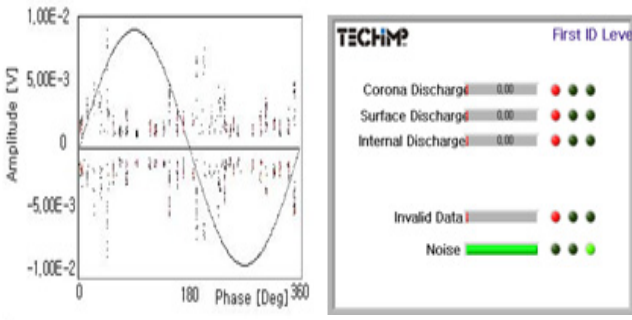
#### 3.1 Techimp(PD-Base I) 장비 측정 결과

Circulating Water Pump #57의 경우 그림 3과 같이 A상에서 약한 PD신호가 측정 되었으며, 이를 A와 B로 패턴을 분할하여 분석하였을 때 패턴 A는 외부 고주파 노이즈이고, 패턴 B는 내부 방전으로 판단된다. 분석결과 A상에서 규정감도 이하의 PD 신호인 9pC이 검출되었으나 현재 순환수 펌프 전동기와 같이 연결되어 전동기가 운전되고 있기 때문에 전동기 쪽 노이즈일 수 있어 향후 추가 진단을 수행할 계획에 있다. 그림 4의 PRPDA(Phase Resolved Partial Discharge Analysis)는 전원의 Phase에 따라 나타나는 PD 펄스 신호의 형태를 이용하여 케이블 내부에 존재하는 결함의 종류를 인식하는 기술이다.



(a) 전체 패턴 획득 (b) 분류맵

<그림 3> A상 측정 결과



(a) PRPD (b) 진단 결과

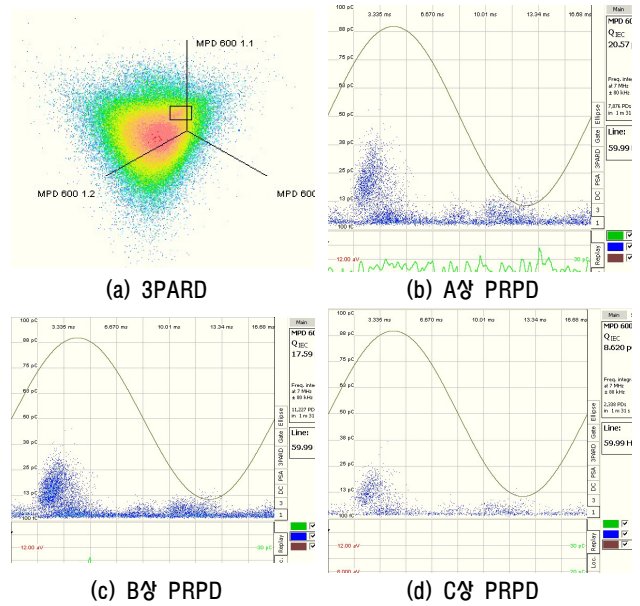
<그림 4> 패턴 A 분석 결과

Circulating Water Pump #58은 C상의 경우만 규정감도 이하의 아주 미약한 PD 신호 검출되었다.

#### 3.2 Omicron 장비 측정 결과

상용 AC 전원이 인가된 활선 상태의 선로를 대상으로 A, B, C 상을 동시에 측정하였으며, 3PAR(D) 기법을 적용하여 PD 발생여부를 진단하였다. 3PAR는 노이즈는 각 상에서 공통으로 발생한다고 가정하여 노이즈의 백터합은 0으로 수렴한다는 개념의 기법이므로, 그림 5의 영점 부근을 영역으로 지정하고, 지정된 영역에 대해서만 PRPD 분석을 하면 그림 5 (b),(c),(d)와 같이 노이즈로 나타나게 된다. 측정시 측정 주파수 대역별로 노이즈 대비 PD 신호의 감도가 달라지므로, 5MHz, 7MHz, 10MHz의 3개 대역에서 측정을 수행하였다.

Circulating Water Pump #57의 경우 측정주파수 5MHz에서 측정된 결과 PD가 발생하고 있다고 판단되나 측정주파수를 7MHz, 10MHz로 변경하여 측정할 경우 상대적으로 저주파수 대역에서는 측정되던 PD 신호가 현격히 감쇄되어 PD 패턴이 사라졌음을 확인할 수 있었다. 그러나 Circulating Water Pump #58의 경우에는 5MHz와 11MHz의 측정주파수에서는 그림 6과 같이 3PARD 결과 PD 신호가 검출되지 않으나, 7MHz의 측정주파수에서는 그림 5 (a)와 같이 돌출 부분이 발생하였다. 이 부분을 영역으로 지정하여 각 상별 PRPD 분석을 하면 그림 5 (b),(c),(d)와 같으며, 기준치 이하의 PD가 발생하고 있음을 확인할 수 있다.



<그림 5> #58 3PARD\_7MHz

Circulating Water Pump #57, #58의 13.8kV 케이블을 대상으로 PD 측정을 수행하였으며, 그 결과는 표 1과 같다.

<표 1> PD 측정결과

측정대상	PD Base I			MPD 600		
	회선	상	PRPD	pC	PRPD	pC
#57		A	발생	기준치 이하	발생	기준치
		B	-		발생	
		C	-		발생	
#58		A	-	기준치 이하	발생	이하
		B	-		발생	
		C	발생		발생	

### 5. 결 론

원자력발전소 내에 설치되어 있는 13.8kV급 고압케이블에 대하여 국내 최초로 실 선로 부분방전 및 열화상 측정을 통한 진단을 수행 하였다. 진단 결과 대상 케이블 모두 정상으로 판정이 되었고, 송전 및 배전선로에 비해서 원자력발전소 케이블에는 코로나 및 노이즈 등이 적게 나타나는 것으로 판정되었다. 따라서 HFPD 측정 장치를 사용하면 발전소를 정지하지 않고도 부분방전 측정이 가능하다는 결론에 도달하였다.

원자력발전소를 정지하지 않고 진단하는 실 선로 경년열화 진단 기술은 발전소 내 고압케이블 뿐만 아니라 향후 초고압케이블의 진단에도 적용하여 케이블의 경년열화 진단을 주기적으로 수행함으로써 인하여 원자력발전소의 안정적 운영에 기여할 것으로 사료된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] E.Pultrum, M.J.M.Vanreit, "HF partial discharge detection of HV extruded cable accessories", GICABLE 95 4th international conference on insulated power cables, Paris France, June 25-29, 1995
- [2] Su-Kil Lee, et al. "Characteristics of high frequency partial discharge for artificially defected extra high voltage accessories," IEEE conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, pp.682-685, 2000
- [3] E.Pultrum, E.F.Steennis, M.J.M.Vanreit, "Test after laying, diagnostic testing using partial discharge testing at site", CIGRE session 15/21/33-12, 1996
- [4] 이진선, 김충식, 이동근, 공충호, 석광현, 이경욱, "HFPD 검출법을 이용한 지중케이블 실선로 진단" 전기설비 전문위원회 춘계학술대회 논문집, 2004