

## 최근 전력기기의 부분방전 진단 현황

김 정 태

(대전대 공대 전기공학과 교수)

### 1. 들어가기

전력기기에서 발생하는 부분방전은 전력기기 운영중 절연열화에 대한 정보를 가장 잘 나타낼 뿐 아니라 부분방전 열화는 일반적으로 절연 열화의 거의 최종 단계에서 발생되기 때문에, 부분방전 측정을 통한 전력기기의 열화진단은 진단의 정확성과 아울러 기기 운영의 신뢰성 측면 및 기기의 보수나 교체 시기 판정에 매우 적절하다고 볼 수 있다.

하지만, 현장에서 전력기기의 부분방전을 측정하는데에는 상당한 어려움이 따른다. 즉, 주위의 환경적인 문제인 노이즈로 인해 측정된 신호가 부분방전인지 아닌지를 구분하기 어렵고, 부분방전으로 판단된다 하더라도 전력기기의 어느 부위 즉, 고전압 전력기기 절연에 치명적인 영향을 줄 수 있는 부위에서 발생하는 위험한 것인지 아니면 절연과는 크게 관계 없는 쉬스 부분에서 발생한 것인지 등을 판단하여야 정확한 진단을 내릴 수 있다.

일반적으로 부분방전을 측정하는 방법은 노이즈가 포함되지 않은 교류 전원(PD free transformer)을 시험대상에 인가하고 여기에 병렬로 커플링 커패시터(coupling capacitor)를 연결하여 시험대상물에서 발생하는 미소한 부분방전 전류를 커플링 커패시터 쪽으로 유도하여 접지측 단자에서 측정하게 된다. 실험실에서는 이와 같은 장치를 슈일드 룸 안에 설치하여 외부의 노이즈를 차단시킴과 동시에 정확한 부분방전을 측정할 수 있다. 부분방전 펄스는 수 kHz ~ 수 GHz 정도에 해당되는 광범위한 주파수 성분을 갖고 있는데, 기존의 방법에서는 수 십 kHz ~ 수 백 kHz 범위에서 펄스 전류를 튜닝하고 증폭시켜 측정하게 된다.

이상과 같은 일반적인 부분방전 측정은 실험실에서나 가능하지 현장에서는 거의 불가능하다. 즉, 현장에는 상당한 종류와 크기의 노이즈가 존재하고, 접지상태가 실험실과는 다르고 시험 대상물의 커패시턴스가 큰 경우가 많아 커플링 커패시턴스 용량의 한계로 인해 부분방전 전류를 측정하기 어려워진다. 따라서, 부분방전 측정이 절연열화 진단에는 가장 정확한 정보를 제공함에도 불구하고 현장 적용이 어려워 실제적인 적용은 이루어지지 않아 왔다.

그러나, 최근 측정 주파수가 1 MHz 이상으로 높은 영역에서는 주위 노이즈의 영향을 덜 받는다는 점에 착안하여 부분방전 펄스의 주파수 성분중 고주파를 측정하는 방법(HFPD 측정 : High Frequency Partial Discharge measurements)이 제시되어 각 전력기기별로 많은 연구가 이루어졌고 현재는 거의 실용 단계에 접어들어 현장 적용이 시도되고 있다. 물론 측정 주파수가 높은 만큼 부분방전의 발생원으로부터 멀리 떨어져 측정하는 경우에는 부분방전 펄스가 전파되는 동안 빨리 감쇄되어 측정의 감도가 떨어지지만, 부분방전 발생원 근처에서는 노이즈가 없는 교류전원과 커플링 커패시터가 없어도 활선 상태에서 상당히 효과적으로 외부 노이즈의 영향을 배제시키면서 부분방전 측정을 할 수 있다. 따라서, 시험 대상물 전체에 대해 부분방전을 측정하는 종래의 방법과는 달리 절연상태가 취약하다고 예상되는 부위(예, 케이블의 접속부, GIS의 스페이서 부분 등)에 HFPD 측정 센서를 취부하여 부분방전을 측정하게 된다. 일반적으로 전력기기에서 절연이 취약한 부분은 설계나 경험을 통해 이미 알고있는 경우가 많으므로 이러한 방법을 충분히 활용할 수 있으며, 활선 상태에서의 측정이 가능하므로 전력기기의 상태 감시나 부분방전 진단 상황을 온라인-실시간으로

측정할 수 있다는 장점이 있어, 최근 매우 각광받고 있다.

이에 따라 본 고에서는 HFPD 측정방법에 대해 HFPD 측정의 장점과 HFPD 측정의 원리 및 최근 연구/적용되고 있는 HFPD 측정 시스템에 대해 초고압 전력 케이블을 중심으로 간단히 소개하기로 한다.

## 2. HFPD 측정의 장점

일반적으로 전력케이블 절연층의 전기트리나 GIS의 부유 도전성 입자에서 나타나는 부분방전 펄스 전류는 350 psec ~ 수 nsec 정도의 상승시간과 수 nsec 정도의 펄스 지속시간을 갖는다. 이러한 펄스에 대해 Fourier 분석을 수행하면 대략 수 백 MHz의 주파수 대역을 갖게 된다. 예로, 350 psec는 1 GHz에 상당한다. 따라서, HFPD(고주파 부분방전) 측정을 통해 이러한 부분방전 펄스를 측정할 수 있으며, 여기에는 대략 3 가지 정도의 장점이 있다.

### 2.1 장점 1 : 감도 향상

1 MHz 이하의 범위에서 측정하는 기존의 부분방전 측정방법에서는 부분방전 에너지의 상당한 부분을 놓치게 된다. 부분방전 펄스로부터 측정되는 에너지는 수 백 MHz의 주파수 대역까지 거의 선형적으로 증가된다. 외부 노이즈가 거의 없는 상황이라면, 부분방전 측정감도의 기본적인 한계는 증폭기나 저항에서의 열 노이즈에 의하게 된다. 그러나, 이러한 화이트 노이즈는 측정주파수의 제곱근에 따라 증가하므로, 부분방전 에너지와 열 노이즈를 고려한 측정 감도는 측정주파수가 높아질수록 S/N 비가 향상된다. 예를 들면, 부분방전 펄스 1/2 크기인 경우의 폭이 1.5 nsec라 할 때 1 MHz에서의 감도는 약 0.1 pC이지만, 350 MHz에서는 0.01 pC으로 향상된다. 따라서, 전기적 노이즈가 전자적 원인에만 의한 것이라면 HFPD 측정의 감도는 향상될 수 있다.

### 2.2 장점 2 : 외부 노이즈 저감

현장에서 부분방전을 측정할 경우 외부 전기적 간섭이 상당한 문제로 되기 때문에, 실제적인 측정감도가 저하된다. 이러한 외부 전기적 노이즈는 고전압 전원에서의 코로나 또는 부분방전, 주변의 고전계하에 놓인 floating(금속성) 물질 및 전기적 접촉불량으로 인한 스파크 등이다. 이러한 노이즈는 시험 대상의 부분방전과 주파수 특성, 위상 특성 및 반복율 등에서 유사하기 때문에, (라디오 송신소나 전력선에서의 라디오 주파수는 쉽게 필터링할 수 있기 때문에 그다지 큰 문제로 되지는 않는다.) 이로 인해 실제 부분방전 펄스로 오판할 수 있다.

이러한 노이즈는 전문가가 오실로스코프에 측정된 파형을 분석함으로써 구분할 수 있는데, 주로 부분방전의 위상 특성, 크기, 크기의 분포, 반복율, 펄스 시간 및 펄스 패턴의 균일성 등의 차이로 구분하게 된다. 그러나, 이러한 노이즈의 부분방전 패턴이 대상물의 부분방전 패턴과 유사하므로 노이즈 저감 측면에서는 그다지 도움되지 못한다.

HFPD 측정에서는 이러한 노이즈 저감에 있어서 기존의 방법 보다 우수하다. HFPD 측정에서는 펄스의 전파 방향과 전파 시간을 측정할 수 있기 때문에 노이즈의 제거가 용이하다. 부분방전 측정기 하나를 시험대상물 쪽에 설치하고 다른 하나를 노이즈 원 쪽에 설치하면, 시험대상 쪽에 설치된 측정기에서 먼저 검출된다. 이러한 측정을 위해서는 도착 시간의 차이를 구분할 수 있도록 nsec 부분방전 펄스에 응답할 수 있는 부분방전 측정기를 사용하여야 한다. 따라서, HFPD 측정에서는 거시적인 패턴 분석에 입각한 통계적인 노이즈 제거 방법이 아니라 펄스-펄스 측정에 입각한 노이즈 제거가 가능하다.

### 2.3 장점 3 : 부분방전 발생과정에 대한 이해 향상

HFPD 측정에서는 각 부분방전 펄스의 파형을 직접 측정할 수 있다는 장점이 있다. 일반적으로 결함의 형태에 따라 펄스의 형태가 달라지므로, 결함의 종류에 따른 부분방전 펄스의 형태를 알고있는 경우 측정된 부분방전 펄스의 형태에 따라 시험대상물의 부분방전 특성을 보다 상세히 분석할 수 있다. 즉, 어떤 타입의 부분방전은 다른 타입 보다 더 위험한 결함일 수 있으므로, 매우 실용적인 분석이 된다. 나아가, 보이드와 같은 결함에서 부분방전 발생시 전자의 전달과정과 같은 현상을 해석할 수 있는 가능성을 가지고 있다.

## 3. HFPD 측정 원리, 측정 시스템 및 적용 사례

전력기기에서 HFPD를 측정하는 방법은 유도성, 용량성 또는 저항성 센서 또는 안테나를 이용하고, 이로부터 얻은 신호와 주위 노이즈용 안테나에 포착된 신호 또는 신호의 전파 방향 등을 고려하고 부분방전의 패턴을 컴퓨터를 이용 분석하여, 순수한 부분방전 신호를 추출하게 된다.

현장 부분방전 검출에 대해 종래 방법은 1 MHz 이하의 주파수(그림 1의 area A)를 검출하는 것으로 상당히 큰 노이즈 레벨 등의 여러가지 단점을 갖고 있기 때문에 잘 사용되지 않아 왔다. 이에 대한 대체 방안으로 제시된 음향 검출방법은 전력기에 전기적인 접촉이 필요 없으며 측정 시스템이 간단하다는 장점을 갖고 있으나, 이 방법은 모든 방전을, 특히 시스템 내에서 발생하여 음향적으로 검출하기 어려운 보다 작거

나 보다 큰 방전을 검출할 수 없다는 상당히 중요한 단점을 안고 있다.

HFPD 측정 방법은 방전 펄스의 고주파 특성(그림 1의 area B)에 입각하고 있다. 보다 높은 주파수에서는 상대적으로 노이즈 레벨이 낮기 때문에 이 방법은 차폐되지 않은 현장에서 전력기기에 대한 측정으로 적합하다.

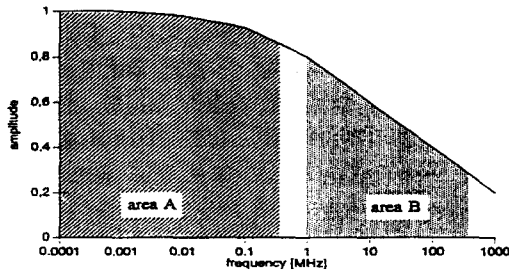


그림 1. 부분방전 스펙트럼

이러한 각종 HFPD 센서 가운데 가장 많이 적용되고 있는 것에 대해 케이블을 중심으로 보다 자세히 설명하면 다음과 같다.

### 3.1 쉬스 분리법

네덜란드의 KEMA에서 제시한 방법으로 케이블의 경우 금속 쉬스가 분리된 곳에서 동축 케이블을 이용하여 부분방전 펄스를 측정할 수 있다. 일반적으로 전력기기의 시공시에 임의로 쉬스를 분리시키는 것은 무리가 있기 때문에, 케이블의 경우에는 주로 접속부나 종단과 같이 특정한 액세서리 근처에서 쉬스가 분리되는 경우에 적용할 수 있다. 그림 2는 150kV 케이블의 종단에 쉬스 분리를 이용하여 실제 측정하는 개념을 나타낸 것으로, 그림에서 종단의 쉬스와 케이블의 쉬스가 분리된 상태에서 측정기로 연결된 것을 볼 수 있으며, 종단 근처에서 발생하는 부분방전을 측정할 수 있는 방법이다. 종단의 쉬스와 케이블의 쉬스는 상용주파수(60 Hz) 전류의 흐름을 위해 굵은 선(구리)으로 연결되며, 동시에 쉬스 분리 부위 근처의 금속 쉬스 양단에 측정용 동축 케이블을 연결시킨다. 만일, 분리 부위의 양 단 거리가 1 ~ 수 cm 정도일 때에는 굵은 구리선으로는 상용주파 전류가 흐르고 동축케이블로는 고주파 성분의 부분방전 전류가 흐르게 된다. 이것은 구리선 쪽과 동축케이블의 임피던스가 다르기 때문에 표피 효과와 반사파 이론이 적용된다. 측정 주파수 대역은 수 ~ 20 MHz 정도이다. 이 센서는 오실로스코프에 연결하여 부분방전을 측정하게 된다.

이 방식에서의 문제점으로는 노이즈 문제를 해결하여야 한다는 것으로, 현장에서 센서에 대한 외부 노이즈의 차폐가 어렵기 때문에 평균 40 pC 정도의 높은 노이즈 레벨을 나타낸다. 현장 종단에 대한 실측에서

대략 30 ~ 4,000 pC 정도가 측정되었으며, 이 종단중 2 개에서 사고가 발생되었는데 그 중 하나에서는 부분방전을 나타내지 않았다. 따라서, 노이즈 문제에 대한 대책이 요구되는 방법이다.

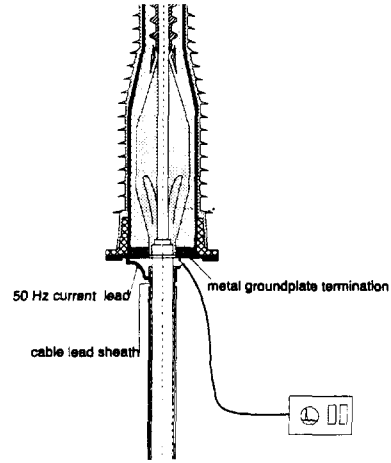


그림 2. 케이블 단말에서 접지 분리를 이용한 HFPD 측정 개념

한편, KEMA에서는 이 쉬스 분리법을 이용하여 측정된 HFPD 데이터에 대한 분석으로 HFPD에 따른 패턴을 분석하고자 연구하였다. 그림 3은 그 중 한 예로, 종단의 절연층 내부에서 발생한 부분방전을 패턴 인식시킨 결과로서 왼쪽의 측정 결과를 오른쪽의 패턴으로 인식시켜 내부 부분방전임을 나타내고 있다. 현재 이러한 연구를 토대로 현장 적용 HFPD 측정시스템을 개발하는 연구를 추진하고 있다.

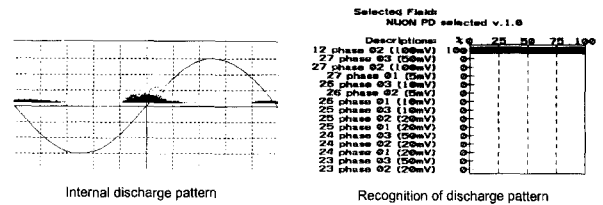


그림 3. KEMA에서 정의하는 HFPD 패턴중 내부 부분방전의 예

### 3.2 one-turn 코일 센서 (유도성)

이 방식 역시 KEMA에서 제시한 것으로, 케이블의 금속 쉬스가 여러 개의 선으로 된 나선형의 금속 스크린으로 구성된 경우에 코일을 이용한 부분방전 측정이 가능하다. 부분방전 펄스는 나선형 선을 따라 흐르게 되고, 이에 따라 케이블 외부로 약하지만 자기장이 형성된다. 결과적으로 이 자장은 그림 4와 같이 케이블을 감싸는 코일로 측정할 수 있다. 고분자 쉬스는 자

장에 영향을 미치지 않으므로 코일을 이 고분자 쉬스 외부로 설치할 수 있다.

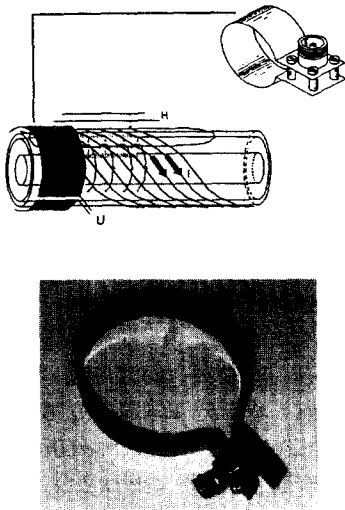


그림 4. 나선형 스크린 구조 케이블에서 코일 센서의 측정 개념

코일을 이용한 측정시스템은 쉬스 분리법 보다 여러 가지 장점을 지니고 있다. 먼저, 코일을 이동시키면서 케이블을 따라 어디서든지 측정이 가능하다. 또한, 측정회로를 연결할 때 고전압을 계속 인가시켜도 된다. 이 때, 코일로 유기되는 부분방전 펄스는 미분 파형이 되어 펄스의 변화율을 더 잘 파악할 수 있으므로, 케이블에서 발생하는 부분방전 신호의 아주 높은 주파수 성분을 검출할 수 있으며 저 주파수의 노이즈는 감쇄된다. 즉, 펄스의 변화율을 보는 것이므로 저주파 성분의 경우에는 변화율이 작게 되는데, 일반적으로 노이즈는 1 MHz 이하의 주파수를 많이 나타내고 있으므로 노이즈의 감쇄가 가능하다. 이 때의 측정 주파수 대역은 500 MHz까지의 UHF 영역이 된다. 이 센서 역시 쉬스 분리법과 마찬가지로 오실로스코프를 이용하여 부분방전을 측정하게 되며, 현재 전용 측정장비를 개발 중에 있다.

한편, 납 쉬스 구조나 국내의 corrugated Al 쉬스 구조를 갖는 케이블의 경우에는 별도의 액세서리가 사용 가능하며, 이 시스템을 이용하여 접속재로부터 10 m 이내에 설치할 경우 현장에서의 부분방전 측정감도는 약 20 pC 정도이다.

현장에서 주위 노이즈 저감을 위한 금속 하우징을 사용하여 측정한 경우, 상당히 낮은 노이즈 레벨을 구현할 수 있었는데, 대략 1 ~ 7 pC 정도였다. 현장 적용된 경우 아직까지 부분방전을 나타내지 않았으며 사고도 발생하지 않았다.

### 3.3 용량성 센서

케이블의 경우 HFPD 측정에서 세계적으로 가장 많이

적용되고 있는 방법이 용량성 센서로서, 독일의 ABB 케이블에서 시작되어 측정장비 메이커인 Power Diagnostix사에서 장비와 함께 센서를 공급하였기 때문에 널리 퍼졌다. 용량성 센서는 케이블의 구조를 이용하여 단순히 접속재나 종단에 금속 포일을 설치하면 된다.

케이블의 외부 반도체층에 금속 포일을 설치하여 반도체 표면저항 및 표유 정전용량을 이용하는 것으로, 상용주파(60 Hz) 전류의 접지는 케이블의 반도체층으로 되고, 고주파(부분방전)의 경우에는 금속 sheath층이 접지로 작용하여 고주파 부분방전만이 선택적으로 측정될 수 있다. 즉, 고주파에서는 반도체층의 커패시턴스로 인한 임피던스가 작아지기 때문에 일종의 고주파 필터 역할을 하게 된다. 그림 5에 XLPE 케이블의 접속함에서 이러한 용량성 센서를 설치한 개념을 나타내었다. 센서인 금속 포일 테이프(또는 메쉬)와 적절한 거리로 떨어진 케이블의 금속 쉬얼드에 동축 케이블을 연결시키는 것으로 센서의 장착은 끝난다. 이 때, 떨어진 거리(S)의 반도체층으로 인한 저항 R은 수십 ~ 수 백 ohm 정도 되는 거리로 설정해야 한다. 반도체층의 C는 200 ~ 300 pF 정도로 보고 있다. 그림 5에 Power Diagnostix사의 HFPD 측정 장치인 ICM 시스템을 같이 나타내었으며 센서를 8 개까지 취부할 수 있도록 되어 있고, Multiplexer와 Data 처리부, 패턴 인식부, 컨트롤부로 구성되며 측정용 컴퓨터와는 광전송으로 데이터를 전달하여, 측정된 데이터를 부분방전 패턴 분석까지 하도록 되어 있으나 아직 부분방전 패턴에 대한 데이터 베이스나 분석 프로그램은 연구 중에 있다. 참고로 그림 6은 Power Diagnostix사의 ICM 시스템을 이용하여 케이블 접속부에서 내부 부분방전 및 외부 왜란(패턴 A)이 중첩되어 측정된 부분방전 측정 예와 이 데이터와 외부 왜란 데이터를 바탕으로 왜란을 제거하여 나타낸 내부 부분방전(패턴 B)만을 분석한 예를 나타내었다.

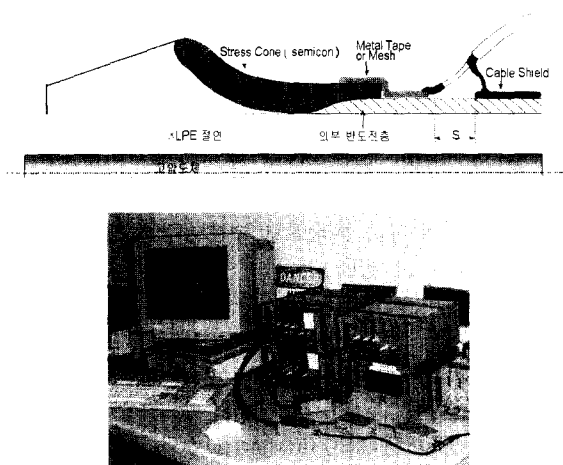


그림 5. 부분방전 측정용 용량성 센서 설치 예 및 Power Diagnostix사의 ICM 시스템

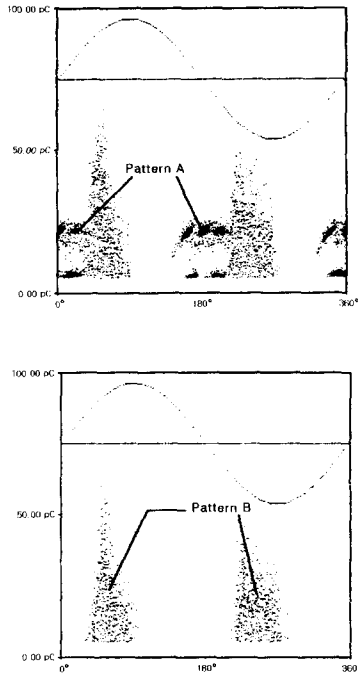


그림 6. ICM 시스템을 이용한 내부 부분방전 및 외부 왜란(패턴 A)이 중첩되어 측정된 부분방전 측정 예 및 왜란을 제거하여 나타난 내부 부분방전 (패턴 B) 분석 예

부분방전 신호는 동축 케이블을 이용하여 금속 포일과 케이블의 금속 쉬ilded에 용접(납땀)하여 연결하며, 가급적 리드 선을 짧게 하여 인덕턴스에 의한 신호 감쇄를 억제해야 한다. 여기서, 금속 포일 테이프가 넓게 접속함의 외부 반도체층을 감쌀수록 측정 주파수 대역의 저주파 한계가 더 낮아지므로 측정감도가 높아질 수 있다. 센서에 연결되는 증폭기의 주파수 대역은 중심주파수가 수 MHz ~ 수 십 MHz인 것을 사용해야 한다.

이러한 용량성 센서는 이탈리아의 CESI에서 BEWAG (독일 전력회사) project로서 prequalification test를 수행할 때 적용되었으며, 주로 유럽의 각국에서 적용이 활발하다. 독일 ABB-Cable에서는 종단에 설치된 이러한 용량성 센서를 적용하여 약 5 pC 정도의 측정 감도를 얻었으며, 실험실에서 보이드 및 반도체층 제거 결함에 대한 실험에서 수 십 pC 정도의 부분방전 측정 결과를 토대로 현장에서 부분방전을 발견하여 교체한 경험을 갖고 있다.

### 3.4 방향성 센서

방향성 센서(DCD : Directional Coupler Detector)는 독일 베를린 공대의 Kalkner 교수가 제안한 방법으로 그 원리는 그림 7과 같으며, 기본적으로 케이블 시스템의 결함은 주로 접속재에서 발생하는 것에 주안점을 둔 것이다. 그림과 같이 접속재 주위의 케이블 외

부 반도체층 위에 동근 판형의 동판 센서를 장착하고, 각 센서에는 2 개의 출력단자가 있어, 2 개의 센서에 총 4 개(A, B, C, D)의 출력단자가 있게 된다. 이들은 방향성 센서로 특정한 방향으로 신호가 전달될 때 검출하게 된다. 신호가 접속재 부분에서 발생하였다면 즉, 접속재에서의 부분방전이라면, B와 C에서 검출될 것이며, 신호가 외부에서 유입된 것이라면, 즉, 종단에서의 외부 노이즈라면, 왼쪽에서 들어올 경우에는 A와 C가, 오른쪽에서 들어올 때에는 B와 D가 검출된다. 이로써, 접속재에서의 부분방전인지 외부 유입 노이즈 인지를 판별할 수 있다. 그림 7에 나타난 취부 센서는 기본적으로는 용량성 센서이지만 신호 전달의 방향을 알 수 있도록 되어 있다. 단, 이 센서는 동판 전극을 케이블 사이즈에 잘 맞게 설치되어야 하므로 굵기가 다른 케이블 마다 별도로 제작하여야 하는 시공성 측면의 단점이 있다. 참고로 그림 7에 LDIC사 방향성 센서를 이용한 측정시스템을 나타내었다. 제품의 측정 주파수 대역은 2 ~ 500 MHz의 상당한 고주파로서, 외부 노이즈가 1,000 pC 이상이라도 측정감도 1 pC 이하의 정밀한 측정이 가능하다. 센서 취부로 인한 방수 문제는 케이블 업체마다의 자체 기술로 처리 가능하다. (일종의 방수 테이프 적용)

이 방향성 센서는 독일의 전력회사인 BEWAG에서 400 KV급 XLPE 케이블에 대해 Commissioning Test로서 적용하였으며, 6 km 선로에 포함된 8 개의 접속재중 1개에서 부분방전이 검출하여 교체한 경험이 있다.

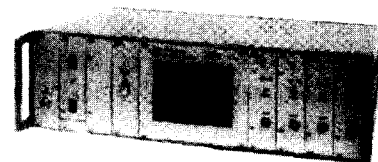
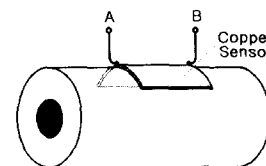
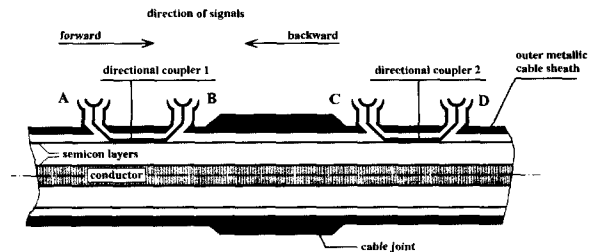


그림 7. 방향성 센서의 원리와 취부 센서의 구조 및 LDIC의 측정 시스템

### 3.5 금속 포일 센서(쉬스 분리 및 용량성)

케이블의 경우 절연접속재(IJ : insulating joint)에서는 크로스분딩을 위해 금속 쉬스를 분리하게 되고 이에 따라 IJ의 한 쪽과 반대 쪽을 서로 커플링 커패시터 처럼 고려하여 고주파(2 ~ 50 MHz) 부분방전을 측정하는 방법이다.(그림 8 참조) 부분방전 측정 주파수 대역이 높으면 발생 신호가 거리에 따라 빨리 감쇄되는 단점이 있으나, 고주파일수록 외부 노이즈 레벨도 낮으므로 고감도로 부분방전을 측정할 수 있다. 이 방법은 일본에서 적용하고 있는 방법으로 특히 휴대형 HFPD 측정 시스템으로 큰 장점을 갖고 있으며, 상시 감시시스템으로도 연구되고 있다. 1989년 이래로 상당한 현장 측정 경험을 갖고 있으며, 진단 시험으로 적용한 경우에는 부분방전을 검출한 경험이 없고 다만 준공시험으로 275 kV급에서 약 20 여건 중 3 건에서 부분방전을 검출한 경우가 있다.

그림 8에 Hitachi의 휴대형 부분방전 측정기를 같이 나타내었다. 부분방전 측정으로 검출 채널의 신호가 주변 노이즈 측정신호와 함께 입력되면, 프리앰프와 측정 주파수 대역의 동조 증폭을 통해 노이즈 제거(노이즈 게이트)와 펄스 계측부로 입력되고 이 부분에서 부분방전 펄스만을 취하게 된다. 측정 신호와 노이즈

는 각각 별도로 출력될 수 있다. 펄스 계측부에서는 케이블에 흐르는 전압의 위상신호가 입력되어 부분방전 패턴을 분석할 수 있게 된다. CPU에서는 각종 연산을 통해 부분방전 패턴을 분석하게 되며, 이를 액정 디스플레이로 나타내고 하드 디스크에 데이터를 저장하며 필요시 내장 프린터로 출력한다. 액정 디스플레이는 터치 패널로 되어있어 손쉽게 동작 상태의 지시나 작업을 수행할 수 있다. 이 장치의 전원은 DC로 구동되며 배터리를 이용하여 간편하게 휴대할 수 있다. 장치 본체의 무게는 15kg, 신호용 프리앰프는 0.27 kg, 노이즈용 프리앰프는 0.25 kg 그리고 외부 DC 전원은 AC 100V / DC 12V, 6A 로서 8 kg 이다.

한편 일본에서는 현장 측정에서 나타난 부분방전을 보다 정확히 분석하기 위한 부분방전 패턴에 대한 연구가 각종 모의 결함을 대상으로 상당한 진척을 보이고 있다. 부분방전은 결함의 종류 뿐 아니라 시간에 따라서도 다른 양상을 보이기 때문에 정확한 패턴을 분석하는 것은 매우 어렵다. 그림 9는 275kV급 XLPE 케이블의 접속재에 인위적으로 외상을 입혀 측정한 결과로서 왼쪽의 그림은 부분방전 측정 결과를 오른쪽의 그림은 시간에 따른 부분방전량을 나타내고 있다.

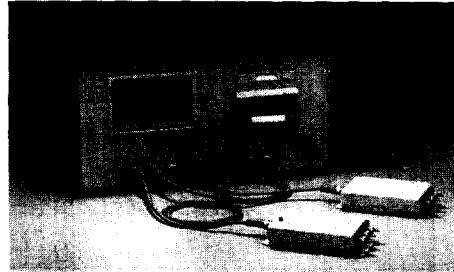
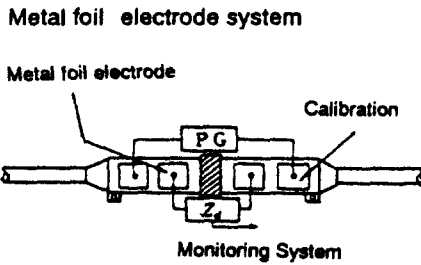


그림 8. 절연접속재에서 금속 포일 센서를 이용한 부분방전 측정 개념 및 Hitachi의 휴대형 부분방전 측정기(HE-31)

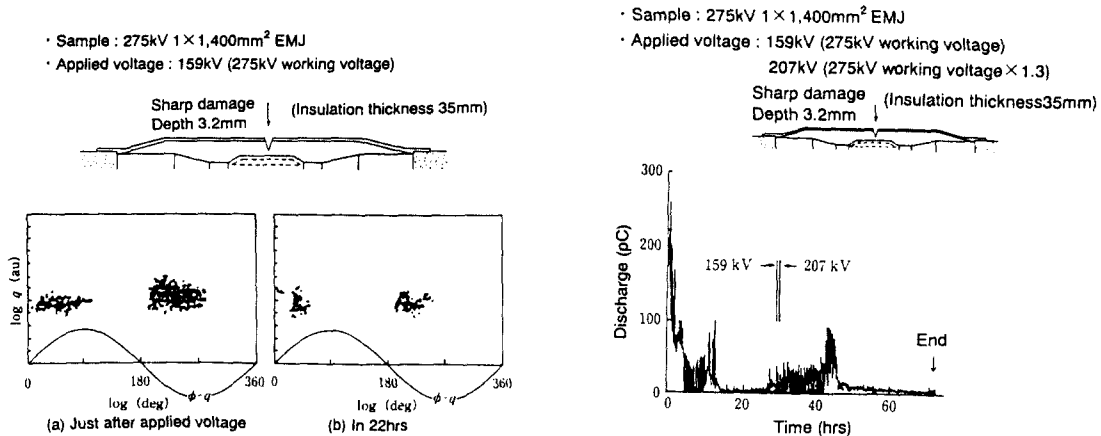


그림 9. 접속재 외상에 대한 부분방전 측정 결과 및 시간에 따른 부분방전량 (일본)

#### 4. 맺을 말

본 고에서는 최근 전력기기의 절연진단 방법으로 대두되고 있는 HFPD 측정에 대해 전력 케이블을 중심으로 소개하였다. HFPD 측정은 현장에서의 부분방전 진단 측면에서 상당한 장점을 갖고 있으므로 향후 현장 적용이 크게 확대되리라 예상된다.

그러나, 현재 HFPD 측정에서 개선되어야 할 점은 측정 자체의 문제가 아니라 해석의 문제이다. 즉, 현장에서 부분방전의 측정은 가능하다 하더라도, 그 측정된 데이터가 과연 전력기기를 시급히 교체 또는 보수하여야 하는 것인지 아니면 시간을 두고 보수하여야 하는지에 대한 점을 제공할 수 있는지가 관건이다.

따라서, 이를 위해서는 전력기기에서 나타날 수 있는 각종 결함에 대해 정확히 모델링하고 그 결함 모델에서 HFPD 측정을 통해 어떠한 패턴이 나타나는지를 연구할 필요가 있다. 이러한 연구는 기존의 부분방전 패턴 인식 연구에 추가되어야 할 것이며, 여기에는 주위 노이즈나 코로나와 같은 왜란을 배제시켜 진성 부분방전만을 분석하는 기술 이외에, 절연 열화의 각종 양상에 따른  $q-\phi-n$  분석 그리고 나아가 시간에 따른 변화 등의 연구가 포함되며, 아울러 이를 바탕으로 현장에서의 측정을 통한 데이터 베이스의 구축이 필수적이다. 즉, HFPD 측정 장치만을 구입하면 모든 문제가 해결되는 것이 아니라 이를 이용하여 적절한 절연 열화진단을 수행할 수 있는 knowhow가 쌓여야 할 것으로 생각된다.

#### 참고문헌

- [1] Grace Jiang, Jinbo Kuang, Steven Boggs, "Critical Parameters for Electrical Tree Formation in XLPE", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 13, No. 2, pp 292~296, April 1998
- [2] N. Takeda, et. al., "Development of 500 kV XLPE Cables and Accessories for Long Distance Underground Transmission Lines - Part IV", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 11, No. 2, p.635, 1996

- [3] K. Kaminaga, et. al., "Development of 500 kV XLPE Cables and Accessories for Long Distance Underground Transmission Lines - Part V", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 11, No. 3, p.1185, 1996
- [4] Y. Sekii, "Recent Technical Progress in Extrahigh-Voltage XLPE Cables", Hitachi Cable Review, No. 12, Aug., p.3, 1993
- [5] Hitachi, 高電壓ケーブル, 機器ノ絶然診断用 高技能可般型 部分放電測定機(HE-31)
- [6] G.P. van der Wijk, et. al., "Development and Qualification of a 400 kV XLPE Cable System with Integrated Sensors for Diagnostics", CIGRE 1998 Session, 21-103, 1998
- [7] Toya, A., et. al., "Development of partial discharge automatic-monitoring system for EHV XLPE insulated cable lines", JICABLE 95, D.3.2., 1995
- [8] I.P.H., BEWAG, Tech. Univ. Berlin, "On-site PD measurement on and Extra-high Voltage XLPE Cable Line", JICABLE 99, C.8.4., 1999
- [9] Pultrum E., et al., "On-line Partial Discharge Detection and Classification by Pattern Recognition on HV", JICABLE 99, B.6.5., 1999
- [10] Nakakawa T., et. al., "Behavior and Diagnostic Techniques of Initial Defects on XLPE Insulated Cable", JICABLE 99, B.6.2., 1999

### 저자 소개



김정태(金正泰)

1960년 1월 1일생. 1982년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1992년-1995년 대한주택공사 주택연구소 선임연구원. 1995년-현재 대전대 전기공학과 교수