

전력케이블의 활선 열화진단 기술



글 _ 김 안 수 (No. 8110)
(주)디투엔지니어링 부사장/기술사

전력케이블의 열화 진단방법은 사선진단과 활선진단으로 구분된다. 사선 진단방법은 노이즈 영향이 다소 적고 데이터 해석이 용이하다는 장점이 있으나, 측정길이의 증가 및 분기회로의 복합적인 반사에 의한 오차증가, 휴전으로 시행이 어렵고 휴전손실도 따른다. 또한 운전전압보다 높은 전압인가에 의해서 케이블의 절연층에 응력을 생성시켜 고장이 발생할 수 있는 단점이 있다. 반면에 활선진단 방법은 시스템 운전전압 상태에서 부분방전(PD)을 측정하여 유해한 결함의 존재에 대한 통찰력을 제공할 수 있으므로 전기설비의 상태를 평가하는 최선의 방안으로 인정되고 있다. 또한 최대 장애인 노이즈 영향에 대해서는 최근 디지털 필터링 기술의 눈부신 진보로 크게 개선되고 있다.

그동안 미국, 유럽, 국내에서 전력케이블의 상태판정은 사선 및 활선진단 방법의 장단점을 감안해서 두 방법을 적절하게 운영하였다. 그러나 최근, 케이블에 대한 최대 국제포럼인 jic cable(11.6.19-23 Paris)에서 향후 전력케이블의 열화 진단방법의 흐름은 활선 진단방법이 대세(大勢)임을 알 수 있었다.

본고에서는 전력케이블을 활선상태에서 PD와 Pre-PD 상태인 수트리(water tree)를 동시에 진단하는 고감도 성능과, 진단결과를 상태별로 평가(condition assessment)해서 후속조치를 신속히 실행할 수 있는 CableWISE 시스템의 기술을 소개하여, 전력케이블 고장을 예방하여 고품질의 전력을 공급하고 효율적인 전력케이블의 유지관리 업무에 기여 하고자 한다.

1. 부분방전(PD, Partial Discharge)

1.1 PD는 무엇인가(what is the Partial Discharge)?

PD는 절연체의 결함, 계면(interfaces), 표면, 도체와 유동적인 요소의 사이 및 부품이 위치하는 곳에서 가스 등의 매체로 인하여 이온화를 일으키는 높은 전기장(electrical field)이 형성됨으로 인하여 발생하는 미세한 불꽃(flash over) 또는 방전현상이다. PD

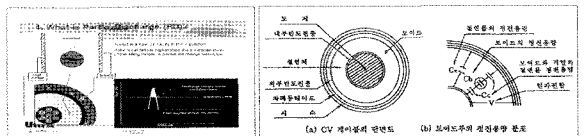
특성은 결함의 유형, 크기, 위치, 절연물질, 전압, 케이블 온도 등에 의해서 좌우되며, 시간이 흐름에 따라 변화된다. PD에 의해서 발생하는 손상은 여러가지 인자들에 의해서 좌우되며, 유형은 수 일에서 수 년에 걸쳐서 고장이 발생할 수 있는 것까지 다양하다.

1.2 PD 발생 과정

[그림 1]과 같이, 보이드(void; hole or cavity)가 형성되어 있는 케이블 절연체에 전계(상용전압)가 인가되면 보이드 계면에는 전계의 반대극성으로 분극현상이 발생한다. 외부전계가 커질수록 보이드 계면의 분극현상도 커지면서 보이드 내면에는 전위차(V_0)가 형성된다. 이 V_0 가 보이드 내부의 절연파괴 수준을 초과하게 되면 보이드 내부에서 방전이라고 말하는 flash over 현상, 즉 보이드 양단에 통전현상이 발생한다. 방전이 개시되는 시점의 외부전압을 방전개시전압(PDIV), 방전이 멈추는 전압을 방전소멸전압(PDEV)이라 한다. 정현파형의 외부전계는 전계의 방향이 주기적으로 교번하게 되며 처음 반주기의 어느 위상에서 방전이 개시되었다면 이어지는 반대극성의 반주기에서 유사한 위상점에서 방전이 다시 발생하게 된다. 즉 방전은 보이드 전압이 방전개시전압을 초과하면서 발생하고 절연체의 불완전성은 국부적인 스트레스의 증가나 방전활동을 증가시킨다. XLPE 절연체에 PD가 발생되면 절연체의 재질부식은 급속히 진행되면서 전기트리(electrical tree)로 진전되어, 절연파괴로 이어진다.

1.3 PD 전압

케이블 절연체에 보이드가 있는 경우, [그림 2]와 같은 등가회로가



【그림 1】 PD 발생

【그림 2】 케이블의 PD 전압

구성된다. 절연체의 정전용량을 C_a , 보이드의 정전용량 C_b , 보이드에 직렬로 된 부분의 절연체 정전용량을 C_c 로 하면, 보이드 C_b 에 가해진 전압 ΔV 는 절연체의 인가전압을 V , C_b 와 C_c 로 분압된 전압을 각각 ΔV_b , ΔV_c 라 하면 ΔV 는 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta V = \frac{Q}{C_b} = \frac{1}{C_b} \times \frac{C_b C_c}{C_b + C_c} \times V = \frac{C_c}{C_b + C_c} \times V$$

C_c 부분에서 고체절연물의 비유전율 $\epsilon > 2$ 이므로, 공극 절연층인 보이드의 C_b 보다도 정전용량이 크게 되므로 보이드 부분의 분압 전압이 높게 된다. 또한 고체절연물은 일반적으로 절연파괴전압이 수십 kV/mm로 높지만 보이드 부분의 공극절연은 3 kV/mm로 낮다. 따라서 C_b 와 C_c 의 직렬회로는 고전압을 인가시킬 때 C_b 의 void 부분에서 절연파괴가 일어나 PD가 발생한다.

1.4 전력케이블 시스템의 PD 진원지(Source)

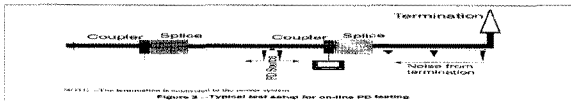
IEEE Std 400.3 4.1.1/4.1.3 Typical partial discharge sources in extruded cables / in accessories

- PD source가 유발될 수 있는 대표적인 결함들은 다음과 같다.
- 수트리(water trees)에 의한 electrical trees, 절연체 내의 voids나 cavities, cracks, 돌출부
 - 차폐층의 knife cuts, gouges, interface 내부의 습기, 금속산화물과 같은 오염물질
 - 표면 tracking, terminal hardware의 코로나, 날림으로 시공된 단말부 등.

1.5 PD 측정 국제기준 ; IEEE Std 400.3 2006, PD Testing

(1) PD detection / General test step

PD pulses wide은 일반적으로 1-5 ns 로 매우 짧으며, 주파수 구성은 PD pulses 진원지(source)에서 1GHz 까지의 상당하는 값을 가지고 있다. 케이블의 PD pulses 검출을 하기 위한 접근 방법은 사선(off-line) 및 활선(on-line) 검측(detection)이다. on-line test는 Fig 2의 시험장비에 의해서 실행된다.



(2) Time-Domain partial discharge detection and location

time-domain(시간영역) testing은 off-line, on-line에서도 가능하다. 각각의 pulse는 최소한 수십 MHz가 사용되는 wideband 검출기로 측정된다. 1-100 us까지 조정가능한 pulse sequence를 가지는 교정기를 사용하면 pulse 중첩을 점검해서

pulse의 상의 위치, 크기 및 발생빈도를 측정할 수 있다. 케이블의 PD 위치를 추적하는 일반적인 방법은 반사측정(TDR)의 원리를 이용한다.

(3) Frequency-domain partial discharge detection and location

frequency-domain(주파수영역) testing은 off-line 및 on-line 모두 적용할 수 있으며, PD pulse 주파수 요소측정을 기본으로 한다. time-varying PD pulses는 디지털 방식이거나 spectrum analyzer에서 analog swept filters를 사용해서 구할 수 있다. 일반적으로 검출되는 PD 신호의 주파수 요소들은 측정지점과 관련되는 PD 위치에 좌우되며 주파수 range는 수백kHz-1GHz 이며, PD 검출 센서의 주파수 bandwidth는 광역 대역폭(300MHz range)이 더욱 실용적이다.

frequency-domain testing은 full and zero-span modes에서 수행된다. full span modes에서 스캔된 주파수 range는 narrow-frequency band 및 wide-frequency bands에서 검사 signals로 조정할 수 있다. narrow-frequency bands를 사용하는 측정은 PD sites의 위치추적 해석을 크게 향상시킨다. 주파수에 대한 PD 에너지는 PD source의 거리 함수로서 밀접한 관계가 있다.

zero-span mode는 Center frequency의 narrow bandwidth에서 측정된 time-domain의 PD pulses를 검사하는 데에 이용되며, 이것은 우수한 검출감도를 제공한다. zero-span mode는 특정한 주파수 운전전압의 1개 이상 주파수에서 발생하는 PD pulses를 발견하기 위해서 사용된다. zero-span mode로 부터의 신호는 흔히 pulse phase analyzer와 결합된다. pulse phase analyzer는 상용주파수 여자(勵磁)에 관계되는 위상각과 크기로 분류된 PD pulse를 기록할 수 있으며 PD의 유형을 구별하는데 사용되고 있다.

2. CableWISE 시스템에 의한 활선열화 진단 기술

2.1 기술개요

CableWISE시스템은 미국 UtilX 제품이다. 미국 Detroit Edison 전력회사에서 '80년대부터 자체 개발된 제품으로 현장에 적용하여 '90년대 후반부터 상업활동이 시작되었으며 북미, 유럽, 아시아 국가의 전력회사 및 산업설비 등에 적용되고 있다. 디텍엔지니어링은 '07.10 국내사용권자로 계약해서, 한국전력 및 산업설비에 적용하여 고장예방에 기여하고 있다.

- 진단 범위 : 3.3-345 kV 송배전용 전력케이블 시스템 (Cable, Accessories, Tr, 개폐장치)
- 모든 케이블 유형에 적용 : XLPE, PILC, EPR, HMWPE, TRXLPE, Buty Rubber

- 모든 도체 size, 혼성회로(straight or branched), 직매, 관로, tray 설비에 적용

■ water tree가 활성화되고 있는 Pre-PD, 절연파괴 전 단계인 PD 및 열화지점을 검출

- On-line 전문기술 : 진보된 주파수 분석기술, 시스템 운전 전압에서 평가시행, 정전, 개폐기 조작 불요

- 비 파괴적 시험 : 과전압을 인가하지 않음으로 인하여 케이블 잔여수명을 단축시키지 않으며, 휴면(休眠) 상태에 있는 PD sites에 대해서 활성화(活性化) 충격을 가하지 않음

■ 센서의 bandwidth은 5 kHz-800 MHz로, 현재 상업용에서는 가장 상위 제품으로 감도가 우수

- 검출감도는 bandwidth의 1/2승에 비례하므로, 300MHz 급은 30MHz에 비해서 3.2배 우수

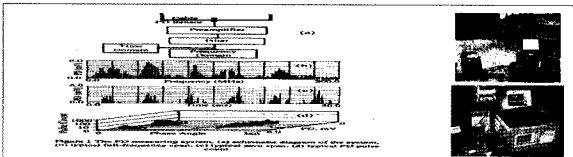
- bandwidth가 증가하면 PD site의 위치 해석도가 향상됨

■ Data 수집, 분석 및 보고서 작성은 다음과 같다.

- PD 활성분을 분석하고, data 수집장치 및 software에 의해서 분석된 data를 상태별로 판정

- 케이블, 엑서서리, 연결기기들에 대한 검출결과를 상태별(1-5 등급)을 분류해서 고객에게 전달

2.2 측정시스템



【그림 3】 측정 시스템

2.3 Frequency & Time-Domain testing, 수트리, 검출감도(detection sensitivity)

【그림 3】은 측정시스템이며, PD 측정은 frequency-domain 및 time-domain 으로 동시에 측정된다.

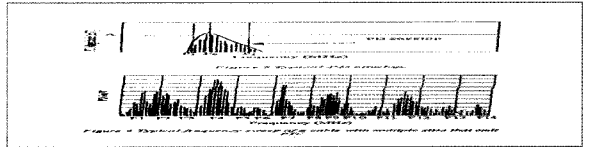
(1) frequency-domain testing

frequency-domain 측정은 spectrum analyzer를 사용해서 full-span 및 zero-span modes로 측정을 실행한다.

- full-span mode에서 주파수 범위는 Fig 4와 같이 narrow-frequency bands 및 wide-frequency bands에서 신호를 검사하기 위해서 검색시간을 PD pulses의 유형별 폭선분포를 출력할 수 있도록 조정된다.

- PD envelope 측정은 다수의 narrow-frequency span에서 PD sampling에 의해서 시작된다.

일단, PD site가 식별이 되면 spectrum analyzer에서 각 site의 공진주파수에 의해서 zero span mode로 분석된다. single value 주파수는 pulse 폭과 관련이 있으며 그 크기는 PD pulses의 에너지를 표현한다.



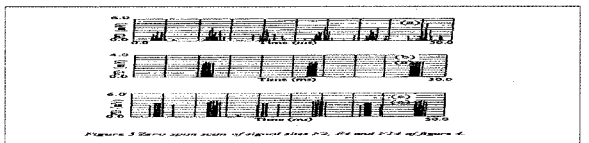
(2) time domain testing

time-domain 측정은 pulse-phase analyzer를 사용해서 PD pulses의 위상각과 크기를 분류해서 저장하며, 결합위치 추적은 검출된 PD pulses의 주파수를 비교한다.

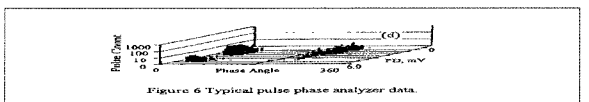
- time-domain에서 zero-span mode는 single-frequency pulses를 검사하기 위해서 사용되며,

- zero-span mode에서는, center frequency와 동일한 공진주파수를 가진 PD pulses 만이 time domain에서 표시되며, 다른 주파수들은 걸러지게 된다. 검색시간은 일반적으로 상용주파수 파형의 3cycles(50ms)로 정정된다. Fig 4는 PD를 방사하는 다중 sites을 가지는 케이블의 frequency sweep을 보여주고 있다.

- Fig 5는 Fig 4에서 보여준 다수의 PD sites(F2, F4, F12)의 zero spans을 보여주고 있다. zero span 정보는 선택된 signals의 pulse repetition을 확인하고 결합의 유형을 식별하기 위해서 사용된다.



- Fig 6은 Fig 4의 site F10 에서 취득한 전형적인 pulse phase analyzer data를 보여주고 있다.

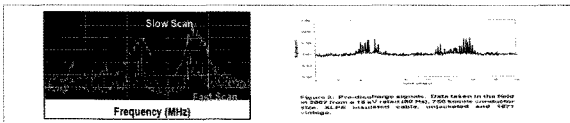


(3) 수트리(Water tree) 열화 검출

- 수트리는 장기간 사용한 XLPE 절연체 케이블에게 피해를 줄 수 있는 가장 중요한 열화형태이다. 현재까지 연구한 결과, 수트리는 전자-산화작용에 의해서 생성되고 자기증식(自己增殖)에 의한 수지상(樹狀) 패턴이다. 이것은 XLPE 절연체의 절연파괴 강도를 낮추는 배전케이블의 주된 열화의

메카니즘이다. 수트리의 시작 및 성장에 필요로 하는 소요기간은 6~15년 정도이며, 일반적으로 전체의 크기는 1kV/mm) 정도이다. 수트리는 PD를 발생시키지 않는다. 그러나 수트리는 수트리 확대, 뇌격입펄스 또는 교류전압 인가에 의해서 전기트리(electrical trees)로 진전되어 고장으로 이어질 수 있다.

- 수트리는 고주파 신호가 케이블을 전파해 가면서 아주 작은 여러개의 반사파를 일으키며 이들 반사파는 케이블의 배경(background) 잡음수준을 상승시킨다. 특히 수트리가 심하게 진전된 케이블의 누설전류는 수백 次數의 고조파 성분을 포함하므로 주파수 스펙트럼 분석으로 수트리를 검출한다.
- 수트리가 진전된 케이블의 절연체에서는 순간스캔(Fast Scan)과 누적스캔(Slow Scan) 스펙트럼 분석을 사용해서 고조파 성분의 크기와 次數 분석을 통해서 수트리의 크기 및 양을 탐지할 수 있다. 순간스캔은 1.2[fC] (Femto Coulomb,10)까지, 누적스캔은 66nA 까지 미세한 전류가 측정된다. 이러한 미세한 신호는 PD가 발생하기전의 Pre-PD로 해석된다. 수트리 주파수 대역은 20~110MHz 정도이다.



[그림 4] water tree의 주파수 스펙트럼

(4) 검출 감도 (detection sensitivity)

① 검출감도는 pico Cuolombs 또는 밀리볼트(mV)로 PD 크기를 표시한다. 케이블 길이와 주변 노이즈가 증가하면 검출감도는 감소하는 경향이 있다. 또한 케이블 size, 유형, 중성선 상태, 반도전 차폐층의 특성은 PD pulse의 전파속도 및 감쇠에 상당한 영향을 끼친다. (출처 : IEEE Std 400.3/5.3 Partial discharge detection sensitivity)

② 검출감도는 센서 bandwidth 크기의 1/2승에 비례하므로, 300MHz급은 30MHz에 비해서 3.2배 높다.

cablewise 시스템의 검출센서 최대 bandwidth는 800MHz로 상업용의 30MHz에 비해서 월등하게 높다.

(출처: Partial Discharge-Part II, Dection Sensitivity, steven A, IEEE Insulation Magine '90.6)

③ 센서의 bandwidth가 증가하면 PD site의 위치 해석도가 향상된다. (출처:IEEE Std 400.3 5.4.2/3 Frequency-domain partial discharge detection and location/Location resolution)

④ PD pulse는 회로 임피던스에 의해서 급속히 감쇠된다.

PD 검출감도와 관련되는 센서의 검출감도를 높이기 위해서 측정점 상호간 측정거리를 150m 이하로 제한해서 검출하면 약 1pC 감도를 얻을 수 있다. (출처 : IEEE Std 400.3 / 5.3 Patrial discharge detection sensitivity, Annex C.2)

⑤ cablewise시스템은 noise 해석개선을 위해 '11.5.9, "noise filtering version 860351"을 개발해서 운용하고 있다.

2.4 진행절차(process steps)

(1) 검출 센서 설치

- U 센서는 PD pulse의 진원지인 도체의 주위에 설치하여 신호를 검출한다.

- PD pulse 에너지는 케이블 도체를 기점으로 전파된다. 예를 들면, splice 에서 접지선을 관통하는 에너지는 도체에서 발생하는 에너지의 일부일 뿐이다. 따라서 도체의 signal을 측정하면 분명히 더 높은 검출감도를 얻을 수 있다. off-line PD testing (IEEE Std 400.3 Fig 1)에서 도체부분의 signal을 측정하는 사유이다.

- 상업용의 HFCT 센서는 접지선의 전류에 흐르는 PD signal을 검출한다. 접지선에 흐르는 전류는 cross 분당, 일괄/비일괄 접속, 피뢰기 접지방식, 전력선의 유도전류 등으로, 복합적인 오차요인의 개연성이 있다.

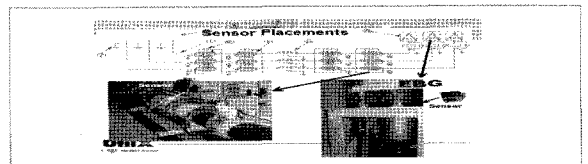
- U 센서의 bandwidth은 5 kHz-800 MHz로, 현재 상업용에서는 가장 높다

HFCT 센서의 최대검출 bandwidth는 30 MHz 이다. 반면에 U 센서의 최대검출 bandwidth는 800MHz 이다.

송전용 EBG / EBA 단말부에서 방사 에너지 bandwidth range는 300MHz-수 GHz에 이른다.

(출처 : Partial Discharge Measurement in Transmission class cable Termination, Nezar A, IEEE T/D 1999)

- 센서의 검출감도를 높이기 위해서 센서간 거리를 150-200m 정도로 구분해서 설치한다.

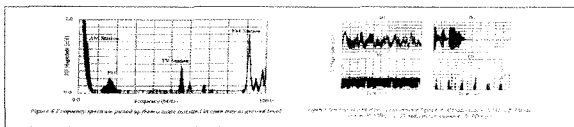


[그림 5] 154 kV 송전선로 검출센서 설치 사례

(2) 노이즈 처리(Noise Treatment)

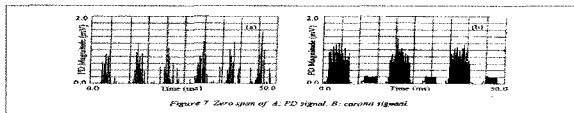
① 노이즈 진원지(sources) : 발변전소, 송배전선로 등에서 사용되는

전력케이블의 PD pulses는 인근 케이블, 전동기 및 변압기, busbar 의 PD 활성분이나 방출설비 등의 전자기 간섭의 결과일 수 있다



- Radio 방송국, TV 방송국 noises는 고정적이며 평활한 대역폭을 가지고 있어서 zero-span mode에서 filtering 기술로 처리할 수 있다. Fig 4는 지면레벨의 open tray에 설치된 케이블에서 수집된 어떤 TV radio 신호들의 주파수 spectrum을, Fig 5는 대표적인 TV, FM 방송국의 zero-span을 나타내고 있다.

- 처리하기가 어려운 유형의 noise는 부싱이나 busbar 에서 방사되는 corona pulses이다. 이들 RF noise의 주파수 특성은 케이블 절연체에서 생성된 PD와 거의 동일하다. Fig 7은 zero-span에서 케이블의 PD signal과 근처 기기 들에서 유도된 corona signal 의 차이를 보여주고 있다.



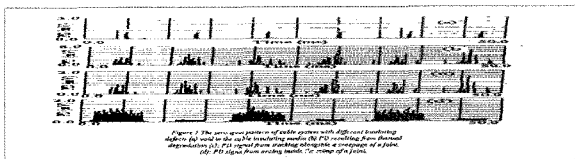
② 노이즈 처리 : noise 처리는 noise 및 검출된 PD signals 모든 주파수 특성을 기초로 한다. frequency domain의 signals을 분석해서, PD와 다른 RF noise을 구별한다. 외부 RF noise는 수 pC- 100 pC 정도로 쉽게 인식될 수 있다. 가공선, 차단기, 변압기 등과 같은 장치에서 생성된 PD signal은 그들의 독특한 패턴(pulse repition, phase angle, height ratio of the individual pulses) 및 주파수 특성에 의해서 구별된다.

주파수 성분은 케이블을 이동하면서 급속히 감소되게 된다. 이러한 반응은 케이블에서 생성된 PD와 케이블에 접속되어 있는 전기장치에서 생성된 PD를 구별하기 위해서 이용된다. 이러한 접근 방법은 케이블 길이에 따라서 다수의 측정 행위들을 필요로 한다. 일반적으로, 200m 이하의 케이블의 경우, 보통 케이블의 양쪽 종단에, 200m 이상의 케이블의 경우는, 200m을 기준으로 해서 양쪽에서 측정점을 선정해서 수행한다.

(3) PD 패턴 인식(pattern Recognition)

PD를 발생시키는 결함의 유형은 PD 패턴 인식으로 확인한다. 이것은 PD를 방사하는 sites에 대한 추가적인 data를 수집해서 실행한다. 추가적인 data에는 zero span scans, 위상각, 지배적인 극성 및 frequency envelope가 포함된다. Fig 1, 2는 다수

의 케이블 및 splice 결함들의 패턴을 보이고 있다.

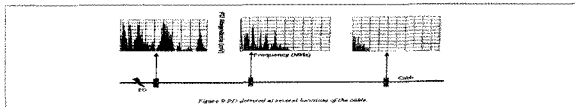


(4) PD 진원지 위치표시(Locating the source of PD)

PD 진원지의 위치표시는 PD pulses의 본질적인 특성을 기초로 하고 있다. 고체 절연체에서 PD는 전자기 pulses를 발생시키며 상승시간은 수 ns - 수 10 'ns 범위이다. 이들 pulses는 전파되면서 감쇠된다. 고주파수 pulses는 저주파수 pulses 보다 감쇠가 더 집중적으로 이루어지므로 강한 주파수의 식별력이 발생된다.

측정지점에서 30 feet 이내에서 발생된 PD pulses는 진원지에 가깝게 근접된 관계로 초기형상은 거의 유지된다. 측정지점 으로부터 근거리에서 생성된 PD pulses가 케이블의 종단부 끝에서 측정될 때에는 상승시간은 훨씬 더 증가하게 된다.

frequency domain에서, 측정지점으로부터 근거리에서 생성된 PD의 주파수 성분은 300 MHz 정도로 높게 되어 판독이 용이하다. 반면에 측정지점으로부터 멀리 떨어진 위치에서 측정된 PD의 고주파수 성분은 Fig 9의 우측 세번째와 같이, 이들이 측정장비에 도달하기 전에 대부분 감쇠되어 나타나지 않게 된다. Fig 9는 케이블에서 다수 지점에서 검출된 PD signal를 나타내고 있다. CableWISE 시스템이 150-200m 이하의 양단에서 측정지점을 선정하는 사유이다.



(5) PD 상태 평가

① 크기(Magnitude)

PD Level 판정하는 기법중 하나는 종래부터 사용해온 PD 크기로 판정하는 것이다. 검출된 PD signal의 크기는 일반적으로 케이블 열화강도를 표시한다. PD 크기는 보통 picoCoulomb(pC) 또는 mV로 표현한다.

[표 1] PD level detected from several types of cables

Cable type	PD magnitude (mV)
Single conductor, unshielded	10
Single conductor, concentric shield	7
Single conductor, solid shield	4
Shielded three conductor cable	2

PD pulses의 감쇠 및 전파는 케이블의 임피던스에 의해서 결정된다. 검출된 signal과 케이블의 상태에 대한 상관관계는 수많은 유형의 케이블에 대한 산출된 data 정보를 사용해서

이루어진다. [표 1]은 다수의 케이블 유형에서 검출된 PD 크기를 mV로 기준해서 판정하는 사례이다.

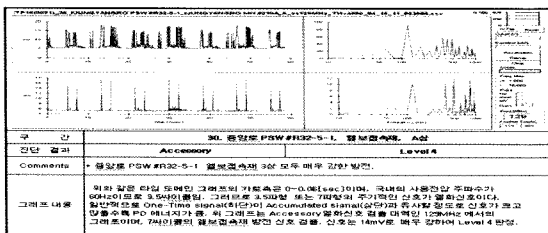
② 강도 판정(Severity Assessment)

CableWISE 시스템은 PD 크기, 그 자체만으로는 상태를 평가하지 않는다. 케이블의 size, 주파수 분포상황, PD 크기 및 발생 빈도, 방전패턴, 시설상태 등은 상태를 평가하는데 사용되는 주요 인자들이다. 분석결과, 케이블 시스템을 상태 등급(condition level; 1-5)으로 분류해서 판정하고 후속조치를 권장한다.

각 레벨 및 권장 사항에 대한 기술 내용은 아래와 같다.

- Level 1 : 열화되지 않는 양호한 설비이다.
- Level 2 : PD 에너지는 케이블 시스템의 절연을 열화시키는 데는 충분하지 않다. 만일 열화가 된다면 열화는 천천히 진행된다. Level 2 에서 Level 3 으로 진전은 5년 이상이다. 이 레벨에서의 방전은 열적, 기계적 또는 환경적과 같은 다른 인자들의 징후에 의한 것이다.
- Level 3 : 이것은 예측할 수 없는 레벨이다. 약 Level 3의 0.5%가 시험후 1년 이내에, 3%가 시험후 1-2년 사이에 고장으로 이행되게 된다. 약 Level 3의 30%가 다른 열화 메커니즘의 진전이 없어도 10년 이내에 고장으로 이행되게 된다.
- Level 4 : Level 4로 평가된 대부분의 케이블 시스템은 고장이 발생한다. 약 15% 이상은 시험후 1-2년 사이에 고장이 발생되며, 이들 sites의 약 30%는 고장이 발생되지 않는다. 대상 케이블시스템은 보수, 재생, 또는 교체가 권장된다.
- Level 5 : 이들 sites의 약 40%가 1년 이내에 고장이 발생된다. 2년까지의 생존 비율은 10% 이하이다. 대상 케이블 시스템은 즉각적인 교체가 권장된다.

(6) 보고서 출력 → '10.9 level 4로 판정된 PD site로, 후속 조치 미흡으로 '11.6 고장이 발생'



3. 고객 명단(Customer List)

(1) 미국 : UtilX社의 지난 7년간(2004-2010) 영업실적은 7,440km 이다. 1998-2006년간 진단된 설비는 전력회사(120개), 원자력발전소(10개), 정부기관(9개), 정유공장(36개) 등 이었다. 특히

엄격한 정밀도와 무한책임을 요구받고 있는 원자력발전소에서도 적용되고 있어 검출감도의 신뢰성은 검증받고 있다. UtilX社는 15개 소(Seattle 본사, 14개 지사)에서 영업 활동을 활발하게 전개하고 있다.

(2) 국내 : 2007.11 - 2011.7 활성열화진단 실적은 한전, 산업체설비 1,054 회선, 131.6 km이다.

최근 디텍엔지니어링은 2011. 7.11-16 日本오카야마 쿠라시키 소재 신일본제철 산하 JFE Steel 구내설비 35구간, 7km에 대해서 활성열화진단을 수행한바 있다. 품질을 최우선하는 일본 산업계에서 CableWISE 시스템을 수용한다는 것에 우리들은 주목하고 있다. 현재, 추가로 X-Mobil 등의 산업체 설비에 대해서 진단 용역 계약을 상담 중에 있다. 2010.1-2011.7 주요 설비의 활성 열화진단 실적은 다음과 같다.

1	한전변압기선로 환선진단(서울본부 경기북부본부 고양 구리,서수원,인성,울산,서인천지점 등)
2	LD/VCM 고압케이블 환선진단 (한화석유화학 여수공장)
3	# 2 Aromatics 고압케이블 환선진단 (GS 칼텍스)
4	1CORE 고압케이블 열화부위의 6중 활성 정밀진단(POSCO)
5	지중케이블 환선 열화진단 (빙그레 광주공장)
6	22.9kV 케이블 환선 진단 (OCI 익산공장)
7	특고압/6.6kV 전력케이블 환선진단 (LG화학 대산공장)
8	전력케이블 환선진단 및 맨홀점검 (한일배관 대전공장)
9	온산공장 22.9kV 케이블 환선진단 (이수화학)
10	양곡변전소 전력케이블 절연열화 측정(한전)
11	교배 D/L 지중인출케이블 환선진단 (한전북부산지점)
12	신촌변전소 전력케이블 환선진단 (한전서울본부)
13	삼성S/S 한전본사 인입케이블 환선진단 (한전강남지점)
14	LG화학 22.9 kV 특고압 케이블 환선진단 (LG화학 대산공장)
15	G-20 행사대비/ 그랜드, 코엑스, 인터콘티넨탈, 하이얏트 호텔/인입선로 진단
16	동수원, 평택 S/S D/L 구간 환선진단 (경기본부 송변전사업실)
17	삼남S/S 전력케이블 환선진단 (경기본부 동부전력팀)
18	충북본부 변전소 전력케이블 환선진단 (충북본부 송변전사업실)
19	노루포 페인트 열화진단 (노루포페인트)
20	신갈S/S 청명D/L 환선진단 (경기본부직할)
21	현대백화점, 오쿠우드호텔 환선진단
22	이수화학 온산공장 특고압 케이블 환선진단 (이수화학 온산공장)
23	3.3kV 아세아제지 폐수처리장 환선진단 (아세아제지 청원공장)
24	154kV 아세아페퍼텍 시화공장 환선진단
25	154kV 한화 여천공장 환선진단
26	154kV 한전강남전력소 도곡T/L 환선진단
27	154kV 한전시흥변전소 독산T/L 환선진단
28	154kV 한전조지원변전소 대화T/L 환선진단
29	한솔케미칼 200~325mm ² 환선진단
30	삼성전자 구미공장 325mm ² 고정점 탐지
31	아세아페퍼텍 시화공장 60~325mm ² 환선진단
32	3.3-11kV 일본 JFE Steel(신일본제철 소속회사) 35구간 환선진단

[1] 케이블 무정전 점검7법 현장 적용용 연구, 한국전기안전공사, '96.12
 [2] IEEE Std 400.3 2006. 4.1.1/4.1.3 Typical partial discharge sources in extruded cables / in accessories, etc.
 [3] "Condition Assessment of Power cable systems in the Enerized State", Nagu SRINIVAS, 07. Iccable/7th International Conference on Insulated Power Cable, C7.2.16
 [4] "Partial Discharge-part II: Detection Sensitivity", steven A. Boggs, IEEE Electrical Insulation Magazine 9/10월 1990-Vol 6, No. 5
 [5] Partial Discharge Measurement in Transmission-class Terminations* NAhmed and NSrinvas, IEEE T&D Conference, New Orleans 1999
 [6] "Insitu Partial Discharge Detection in Power Plant Cables", Nezar Ahmed and Nagu Srinvas Detroit Edison 26th Water reactor safety Information Meeting.
 [7] "Partial Discharge Severity Assessment in Cable System", Nagu Srinivas/IEEE T&D Conference 2001 외 다수논문.