

실선로 22.9kV XLPE 케이블 진단을 위한 포터블 부분방전 진단장치

이용성, 김정윤, 이현선, 정성만, 이창수
(주) 엘파워

Portable Equipment for Partial Discharge Diagnosis of On-site 22.9 kV XLPE Cable

Lee Yong-Sung, Kim Jung-Yoon, Lee Hyun-Sun, Jung Sung-Man, Lee Chang-Soo
M-power

Abstract - 배전 케이블 부분방전 측정에서는 외부노이즈, 코로나가 동반되어 검출되고 있다. 특히, 단말부의 부분방전측정에서는 부분방전 현상이 크게 발생하여 측정될 경우 다른 상에서도 유입되어 검출되는데 코로나나 외부의 노이즈가 크게 유입될 경우 진단의 어려움이 있다. 더불어 각 상의 위상을 직접검출이 어려운 송배전 케이블의 단말에서는 유기된 신호의 상을 찾는 데도 어려움을 주고 있다. 이러한 문제를 반영하여 현장 측정이 용이하도록 이동형 포터블 진단장치를 개발하였다. 3개의 HFCT 센서를 사용하여 3상을 동시 측정할 수 있도록 하였다. 전원 분압 트리거 회로와 전류 변류 트리거 회로를 사용하여 위상 분석을 병행하였다. 실선로의 배전 케이블 부분방전 진단의 효율적 수행을 위해 개발된 본 장비를 현장 적용하였으며 내장된 PRPD 분석법이 가능하였으며 S/W 노이즈 게이팅을 적용하여 다른 상에서 유기되는 신호를 제거하여 진단결과의 신뢰성을 높일 수 있었다.

1. 서 론

XLPE 전력케이블의 사고 사례를 보면 초기결함으로 보이드 및 이물 질혼입에 의한 절연과피, 제작시공 불량 등이 있고 중장기 운전중의 결합사고로는 초기결함을 찾지 못한 미세결함 요인, 수명에 의한 경년 열화등으로 나눌 수 있다. 배전 케이블 계통은 케이블의 단말부에 유기되는 코로나와 외부노이즈 유입이 전구간에 미세한 영향을 주고 있어서 초고압케이블과 같은 높은 S/N비가 나타나지 않는다. 또한 배전선로는 배전반이나 각종 계통으로 분리되는 환경으로 선로의 수와 측정개소가 매우 많은 문제로 이동성이 용이하면서 동시 3상을 측정할 수 있는 측정 시스템의 필요성이 절실히 요구된다. 본 개발 장비는 동시 3상을 측정할 수 있으면서 이동이 용이하며 측정 완료 후 PRPD 분석결과를 나타낼 수 있도록 하였다.

2. 본 론

2.1 부분방전 진단의 차이점

2.1.1. 송배전 선로

지중 송전 XLPE 케이블은 전력구나 관로를 통하여 포설되어 있고 관로의 침수를 막기 위한 펌프시설도 갖추어 있다. 부분방전 진단위치는 중간 접속함과 단말부를 하게 되는데 EBA를 제외한 대부분의 단말은 도체부가 노출되어 있지 않아 코로나 방전에 의한 노이즈 유입이 배전에 비해 비교적 적다. 결함의 요인으로는 운전중의 결합보다는 시공불량에 의한 문제가 결함의 대부분으로 나타났다. 용량성 박전극 센서를 이용한 측정법이 주로 이용되고 있고, 일부 HFCT센서를 이용한 측정법도 적용되고 있다.

배전급 XLPE 케이블의 시공은 전력구나 관로에 시설되는 경우가 매우 적고 대부분이 매설형, 덕트형 시공이 이루어지고 있다. 매설중에 중간 접속구간이 필요할 경우 맨홀을 이용한 접속이 이루어졌으나 일부는 침수가 되는 경우도 많이 나타나고 있다.

배전급 XLPE 케이블의 측정방법으로는 HFCT를 사용한 유도성 측정법과 UHF 센서를 사용한 전자파 측정법을 이용하고 있다. 배전케이블을 측정하기 위해서는 HFCT의 내경이 케이블 지름보다 큰 모델을 사용해야 한다. 지름이 작은 HFCT를 적용할 경우 접지 중간접속을 위해 노출된 차폐층에서 측정하여야 하는데 감도가 크게 떨어져 측정이 어렵다.

2.1.2. 실선로의 개수

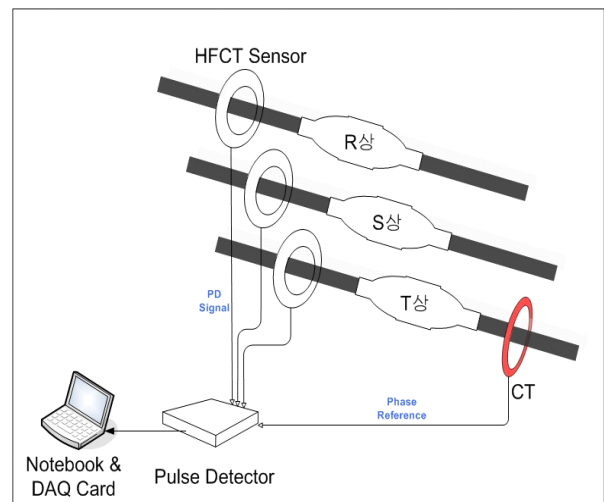
지중 송전 XLPE 케이블도 중간 접속함과 단말이 측정대상이다. 중간 접속구간의 최대 간격은 생산되는 케이블의 최대 길이인 300M(케이블 길이)선로로 1구간마다 3상으로 3회의 진단이 이루어진다.

배전 케이블의 경우 원거리 계통보다는 근거리 선로로 구성되어 있거나

선로의 수량도 송전에 비해 많이 구성되어 있다. 현장의 환경도 주로 공장이나 배전계통으로 이루어져 측정개소도 수 회선에서 수십 회선으로 설비되어 있다. 이로 인하여 송전의 측정 환경처럼 1개의 상을 측정하기에는 많은 문제가 있다. 초고압에 비해 배전케이블은 외부에서 유입되는 노이즈에 의해 측정감도가 많이 떨어지는 요인이 있다. 현재 배전케이블에서 측정감도는 50pC에 두고 있어 초고압 케이블이 5pC에 비해 높은 기준치를 가지고 있다. 그러나 외부로 노출된 배전케이블의 단말의 보편적인 노이즈가 50pC의 기준치를 초과하는 경우가 많아 측정에 어려움이 있다. 뿐만 아니라 단말 접지에 의해 초고압 송전 선로에서는 크게 나타나지 않는 다른 상의 노이즈 유입이 발생하여 측정의 어려움을 더해주고 있다.

2.1.3. 휴대형 부분방전 측정 장치

종래에 주로 사용되고 있는 배전급 휴대형 부분방전 진단장비는 크게 두 종류로 나누어져 있는데 임펄스성 PD신호를 감지하여 단순 표시를 나타내주는 모델이 주로 사용되어지고 있고, 다른 하나는 센서에서 받은 신호를 증폭 또는 변환하여 AD 변환기 또는 오실로스코프를 사용하여 데이터를 획득 후 컴퓨터에서 분석하는 방법을 이용한다. 전자는 코로나 신호 및 임펄스성 이상신호가 검출될 경우 구분하기가 어려운 문제가 있다. 초고압 송전케이블에서는 후자의 측정시스템을 사용하여 측정을 하여도 되나, 배전급에서는 많은 선로를 측정하여야 하기 때문에 이동성과 간편성을 함께 요구하며 측정구간이 중간접속이 되어 있는 맨홀이 주 대상이기 때문에 배터리를 사용하여 독립적인 전원도 필요하다.



<그림 1> 장비 구성도

2.2 휴대형 부분방전 측정 시스템설계의 요소

2.2.1. 센서의 구조

배전 케이블에서 주로 사용되고 있는 CN/CV, CV 타입과 따른 설계를 고려하여 본시험에서는 IPEC사의 HFCT를 사용하였다. HFCT의 공진 주파수는 수백KHz~20MHz로 배전 케이블에서 주로 사용되고 있는 325mm² 케이블에 적용하기위한 내경을 가진 CT로 선택하였다.



〈그림 2〉 HFCT 센서와 22.9kV케이블단말

2.2.2. 노이즈와 펄스 검출기

IPEC CT를 적용할 경우 전원전류에서 유기된 60Hz와 수백Hz의 낮은 노이즈도 유입되는 것이 확인되었다. HFCT에서 검출된 부분방전 진단 신호는 임펄스성 신호로 주파수 범위는 100kHz에서 20MHz 범위의 신호가 검출된다. 이동성이 용의하도록 노트북에 적용할 다채널 DAQ중에 이와 같은 주파수 범위를 실시간으로 처리하기에 어려운 점이 있어 보완해줘야 할 변환기가 필요하다. 이를 보완하기 위해 짧은 시간에 발생하는 펄스신호를 검출하여 DAQ에서 처리할 수 있는 시간동안 늘려주는 역할을 하도록 펄스검출기(pulse-detector)를 설계하여 이용하였다. 즉 검출되는 임펄스 신호를 100kS/s의 DAQ에서 처리할 수 있도록 신호를 늘려주는 역할을 하는 것이다. 측정 개소가 많은 배전케이블에서 같은 측정 방법으로 1개의 상만을 측정하는데 많은 시간을 허비하는 문제점을 보완하기 위해 3개상을 동시 측정할 수 있도록 3채널 측정 시스템으로 구성하였다.

2.2.3. 트리거 방식의 선정

케이블의 부분방전 신호를 분석하는데 있어 측정된 신호의 위상분석은 매우 중요하다. 송배전케이블의 전압위상을 직접 검출하는 것은 불가능하기 때문에 상용전원과 부하전류를 이용한 간접검출법을 이용한다. 신호의 위상을 동기화하기 위한 트리거 모드로 내부 트리거 모드와 외부 트리거 모드 기능을 선택할 수 있게 하였다. 내부 트리거는 AC 전원을 사용하였을 때 AC전원에 맞추어 트리거 되는 것이고 외부 트리거는 외부에서 주어진 신호를 이용한다. 외부 트리거 소스로는 외부 입력신호 검출 단자를 사용하는데 전류 CT를 이용하여 케이블 전류를 직접 검출하여 전압 위상을 추정할 수 있다. 또한 포터블 부분방전 진단 장치에서는 H/W 트리거를 적용하였다. S/W트리거를 할 경우 기술적인 신호처리 병목현상이 동반되기 때문이다. 신호를 소프트웨어로 변환하여 처리하는 과정을 거치게 되므로 다중의 연산 과정을 거치게 되고 트리거 시기를 인식한 후 각 채널의 데이터를 처리하는 과정을 거치게 되므로 트리거와 데이터 변환을 동시 처리를 위해 H/W 방식을 적용하였다.

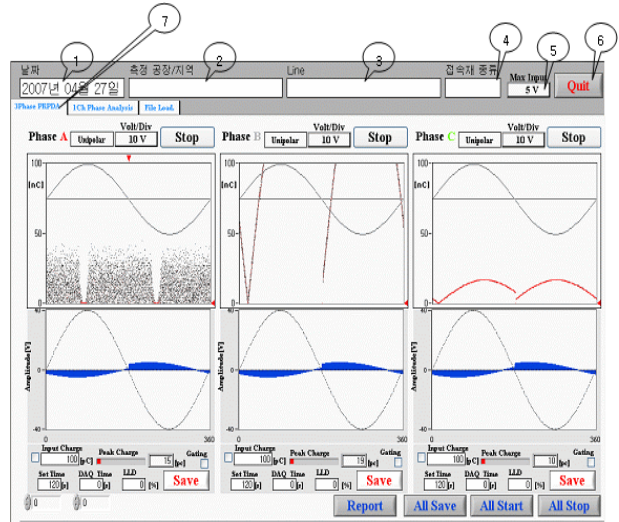
2.2.4. 배터리 방식의 선정 이유

맨홀과 같은 상용전원이 없는 구간의 측정을 위해서는 별도의 전원으로 운용을 하여야 한다. 발전기나 인버터를 사용하여 전원을 공급할 경우 리플 노이즈 유입을 차단할 수 있는 회로의 필요성이 요구된다. 이동성과 노이즈유입을 고려한다면 측정 장치내에 배터리를 이용한 운용이 효과적으로 볼 수 있다. 1개 선로당 측정시간이 약 15분 내외이므로 5개 선로를 연속 측정할 경우 70분정도 소요되는 것으로 간주 할 수 있으나 측정 개소의 이동 및 측정 환경에 따라 준비 과정이 들어가므로 2배 이상의 시간을 고려하면 약 3시간의 연속 가동 및 4시간 이상을 대기할 수 있는 배터리의 필요성이 요구된다. 최근에 사용되고 있는 대부분의 노트북은 배터리만으로 4시간 이상의 운용이 가능하기 때문에 휴대형 진단장치가 이에 맞추어 운용이 되도록 설계하였다. 포터블 진단장치 내부의 주 회로는 능동 필터부, 증폭부, 펄스검출기로 5V 250mA를 소모하고 있으며 정전원회로의 동작을 위하여 내부 배터리는 7.2V 1000mAh를 탑재하였다.

2.3 분석 S/W

2.3.1 기능

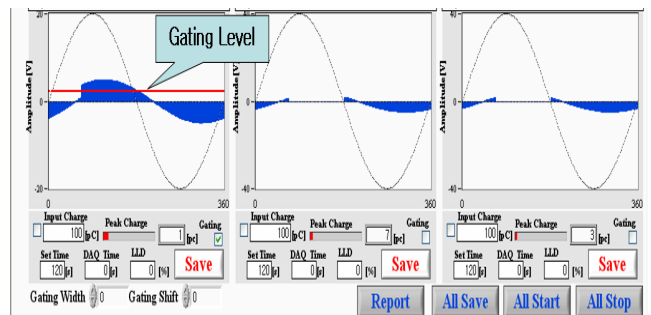
배전케이블을 빠르고 효율적인 진단을 위해서 개발된 포터블 측정 장치의 S/W는 3상 동시 측정이 가능하도록 하였고, 사용이 간편하면서 측정과정에서 진단 보고서로 정리할 수 있도록 제작되었다. 그림3에서 볼 수 있듯이 (1)측정날짜, (2)측정지역, (3)측정선로, (4)접속계의 종류, (5)DAQ에 최대 입력신호크기, (6)프로그램종류, (7)측정채널변환 및 저장 파일 읽어오기 기능을 나타낼 수 있다.



〈그림 3〉 포터블 측정 S/W

2.3.2. S/W 게이팅(gating)

S/W 노이즈 게이팅(noise-gating)이라고 하며 다른 상에서 유기된 동일한 신호로 판명되는 신호를 제거 후 검출하기 위한 기능이다. 코로나 신호가 강하게 가 유입되거나 측정 상에서 발생한 이상신호가 클 경우 다른 상으로 그대로 유입 되는 경우가 있을 때 적용하는 기능이다. 게이팅이란 게이팅 소스의 설정한 레벨보다 높은 대역을 찾아내어 게이팅 소스를 제외한 나머지 상(예를 들면, 게이팅 소스가 A상으로 설정되면 B, C상)의 대역의 신호를 제거하는 것이다. 그림4와 같은 PRPD 화면에서 채널 1의 게이팅 모드를 on 하였을 때를 나타낸 것이다. 게이팅 모드를 on한 A상이 게이팅 소스(gating source)이며 게이팅 소스는 한 상만 설정할 수 있다. 만약 A상을 게이팅을 on 하게 되면 나머지 상은 게이팅을 작동할 수 없으며 원하는 상의 게이팅을 작동 하려면 모든 상의 게이팅 작동을 해제해야 한다. 게이팅 레벨과 게이팅 폭(gating width)을 조절할 수 있다. 폭은 왼쪽은 고정이고 오른쪽이 넓혀진다. 게이팅 시프트(gating shift)를 조절하게 되면 게이팅이 되는 곳의 위치를 이동할 수 있고 게이팅 시프트가 올라가면 게이팅이 되는 곳의 위치는 왼쪽으로 이동한다..



〈그림 4〉 S/W gating 시험 화면

프로그램내의 save 버튼을 클릭하면 그동안 누적된 파일을 컴퓨터에 저장하여 Report 폴더가 생성되고 Report작성에 필요한 데이터가 텍스트 파일로 생성되며 3상의 PRPD의 이미지데이터(jpg)가 저장된다.

2.4. 현장 측정 시험

그림 5는 현장 측정 시험을 보여주고 있다. 활선인 22.9kV 배전 케이블 단말의 현장 측정 시험에 적용하였다. 시공된 지 5년이 경과한 케이블로 정기 부분방전 진단에 적용 시험 하였다. 비교 시험 장비로는 LDIC사의 Lemke probe를 적용하였으며 단말에서 부분방전 신호가 검출되는 것으로 판명되어 본 포터를 측정 장치를 적용하였다.



〈그림 5〉 현장 측정 시험

그림 6 (A)는 이상으로 추정되는 케이블로 분석을 위해 해체한 사진이다. 그림 6 (B)와 같이 XLPE와 반도체의 사이에 공극이 발견되었으며 반도체를 분리후 탄흔을 발견하였다.



(A) 결함으로 추정되는 단말 S상 케이블

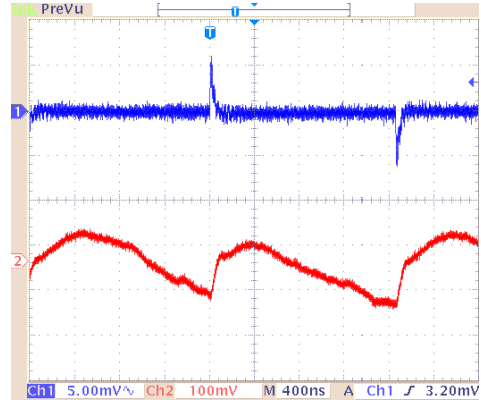


(B) 손상된 흔적이 발견된 반도체층 (C) 탄흔 흔적
〈그림 6〉 결함으로 추정된 단말 처리부

3. 적용 결과

3.1. 펄스검출기의 신호변환

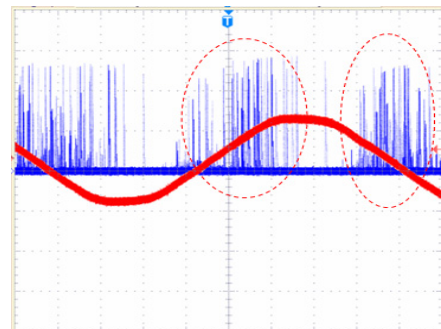
그림 7은 펄스검출기의 신호변환의 결과이다. 채널 1은 입력된 펄스이고 채널 2는 처리된 신호로, 늘어주는 것을 볼 수 있었다. 채널1의 신호는 100nS정도의 임펄스신호로 검출되었으면 채널 2에서는 1.2uS정도의 늘어짐을 볼 수 있었다.



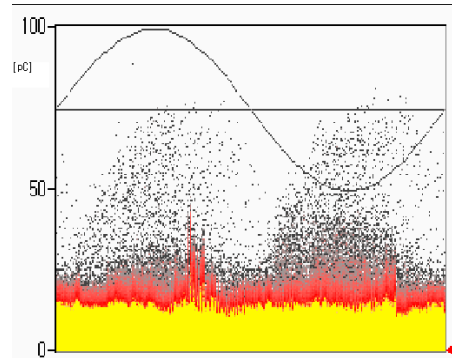
〈그림 7〉 펄스 검출기의 입력력 신호

3.2. 현장 측정 시험

그림 8은 현장 LDIC사의 Lemke probe로 측정된 신호와 포터블 측정장치와의 신호 비교결과 이다. Lemke probe에서 측정된 신호는 오실로스코프를 사용하여 데이터를 획득하였다. 그림 8 (A)에서 보여주는 사인위상은 AC상용전원 분압기를 사용하여 위상기준값을 사용하였다. 그림 8 (B)는 포터블 측정장치의 결과 PRPD 결과 이다.



(A) LEMKE probe의 측정결과



(B)포터블 측정 S/W를 사용한 측정 결과
〈그림 8〉 결함으로 추정되는 S1상의 측정 비교

4. 결 론

본 연구에서는 휴대성과 측정환경 개선을 위해 배전용 포터블 측정 장치를 설계 제작하였다. 현장 측정에서 3상의 측정결과를 동시에 얻을 수 있으면서 보고서결과를 얻을 수 있어 측정환경과 측정시간을 개선할 수 있었다. 부분방전 진단용 펄스 검출기의 적용으로 채널당 150kS/s의 DAQ측정 시스템으로 PRPD분석이 가능하였다. 노트북과 함께 이동성을 용의하기 위하여 PCMCIA형 NI-DAQ를 적용하였는데 굵은 케이블과 소켓이 노출되어 아동에 작은 불편을 초래하여 USB타입의 별도 인터페이스 개발의 필요성이 요구되었다. 본 시험에 적용된 3개의 HFCT 센서가 본 장비 무게의 30%를 차지하여 가볍고 휴대가 간편한 안테나 타입의 센서가 요구되었다.

감사의 글

본 논문은 “2006년도 중소기업청 기술혁신과제”에 의하여 지원되었음

[참 고 문 헌]

[1] C.S.Kim, J.S.Lee, C.Y.Lee, W.N.Kim, "On-site PD measurement for after-laying test of 345kV XLPE cable system in Korea", Proceedings of J-K Symposium on ED & HVE, pp. 125-128, Nagasaki, Japan, Nov.. 6-7, 2003
[2] 신두성, 이창영, 김충식, 전승익, 김동욱, 박완기, "고주파 부분방전 측정에 의한 초고압 접속함 신뢰성 평가기술", 전기학회논문지, 제49권, 제3호, pp.186-195, 2000

[3] Fred Steennis and Peter van der Wielen, "Permanent on-line monitoring of mv power cables based on partial discharge detection and localisation", International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Changwon Convention Center, Korea, April. 2-5, 2006
[4] A. Cavallini, G.C. Montanari, "A New Methodology for the Identification of PD in Electrical Apparatus: Properties and Applications", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 12, No. 2; April 2005
[3] J.S.Lee, C.S.Kim, S.H.Lee, K.Y.Lee, L.H.Lee, "Completion of 345kV long distance XLPE cable system" Proceedings of ICEE , pp.406-409, Sapporo, Japan, July 4-8, 2004
[5] Choong-Sik, Kim, "Change in PD Pattern with Aging", IEEE-DEI, Vol.11, No.1, 2004