

**방향성센서를 이용한 고주파 부분방전 측정시스템의
XLPE 케이블 및 접속함 적용**

유 인기, 김 기영, 정 영우
대한전선(주) 전력기기

**An adoption of the HFPD measuring system using directional coupler sensors
to XLPE cable & accessories**

In-Kee Yu, Ki-Young Kim, Young-Woo Jeong
TAIHAN Electric Wire Co. EHV Acc'y Factory

Abstract - In this paper, High Frequency PD measuring system using directional coupler sensors(DCS) is introduced. Especially the principles of the DCS and characteristics of the system are introduced. Evaluation of this system was carried by an adoption to the test circuit of 345kV XLPE 2000mm² cable and EB-A, EB-G, PIJ, PNJ. In the test a PD measurement was carried out without shieldroom and under the on-line state and in the high frequency range at the remote site from the test object. The test result was satisfactory and this is due to the use of DCS and using a high frequency range and specific filter for radio and TV signal and low pass. This system can be used to the test of a new construction of cable and accessories and measuring of long-term deterioration of cable and accessories. And this will bring us the reliability of a power transmission.

방식으로 부분방전의 신호가 접속재 내부인지 아닌지를 판별할 수 있으며, 내부인 경우 부분방전의 발생위치를 수 cm정도로 정확하게 파악할 수 있다.

종래의 저주파 부분방전 측정법은 절연체내에서 발생된 부분방전이 절연체 양단에 형성시킨 전극에서의 명목 전하(Apparent Charge)의 형태로 나타나는 양을 측정하는 것이고, 고주파 부분방전 측정법은 절연체 중의 부분방전에 의한 전류 펄스가 케이블을 따라 Travelling wave로서 진행되는 것을 capacitor나 inductor등의 센서로서 그림 1, 그림 2와 같이 coupling하여 고주파 대역에서 신호를 검출하는 방법이다.

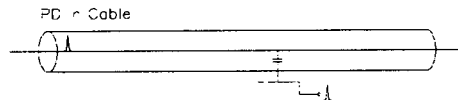


그림 1. capacitor를 이용한 coupling

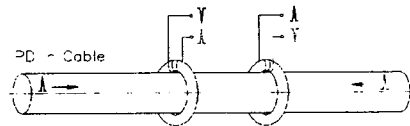


그림 2. inductor를 이용한 coupling

그림 2와 같이 coil의 방향을 반대로 하면 동일한 임펄스 신호에 대하여 coil 양단에 유기되는 전압의 위상이 반대가 되는 현상을 이용하여 그림 3과 같이 한 센서내에 반대 방향의 coil 2개와 capacitor 1개를 집적할 수 있다면 한쪽 단자는 신호가 합쳐질 때 위상이 반대이므로 매우 작은 신호가 유기되고 다른 한쪽 단자는 신호가 합쳐질 때 위상이 같아서 매우 큰 신호가 유기된다. 이것을 이용하면 센서에서 임펄스의 방향을 알 수 있으며, 두 개를 사용할 때 신호가 두 센서의 내부인지 외부인지 파악이 가능하게 된다.

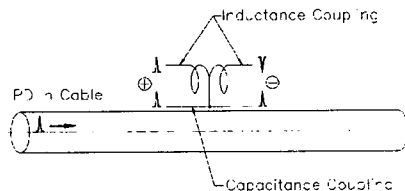


그림 3. capacitive & inductive coupling

1. 서 론

전력 설비가 고전압화, 대용량화 되고 부하 중 정보처리, 통신 등 고품질의 전력수요가 증가하므로 전력설비의 상시감시시스템의 필요성이 대두되고 있다. 전력기기에서 절연파괴가 되기 전의 전구현상으로 거의 모든 경우에 부분방전을 수반하므로 이 부분방전을 측정하여 전력기기의 이상 및 열화를 판정하는 상시감시시스템의 연구가 활발히 진행되고 있다.

현장에서 운전 중 부분방전량을 측정할 때의 어려움은 현장에 차폐실을 설치할 수 없어, 미소 부분방전 신호와 혼입된 환경, 전원, 접지선 잡음을 구분하기 어려운 것이다. 최근에 이점을 극복하기 위해 잡음의 신호가 대부분 1MHz 이하의 저주파인 점을 감안하여 수MHz~수백MHz의 고주파 영역에서 최적의 S/N비(부분방전 신호 대 외부 노이즈의 비)를 가지는 대역을 선정하여 부분방전을 측정하는 방법이 연구되고 있으며, 사용하는 센서와 주파수 대역은 국가와 업체별로 다르다. 그 중 케이블 및 접속재의 부분방전을 측정하는 방법으로는 방향성센서(Directional Coupler Sensor)를 이용하는 방법이 매우 우수한 것으로 보고되어지고 있다. 이 방식은 부분방전 발생위치가 접속재 내부인지 아닌지를 판별할 수 있으며, 외부 노이즈가 1,000pC 이상이라도 1pC 이하의 정밀한 측정이 가능하다.

본 논문에서는 국내 최초로 독일 Lemke社로부터 방향성 센서를 이용하는 LDY 730 시스템을 도입하고 아사의 345kV 2,000mm² XLPE 케이블 및 접속재로 구성된 모의 선로에 적용하여 그 성능을 검증하였다.

2. 본 론

2.1 방향성센서(DCS)의 원리

베를린 공대의 Kalkner 교수가 이론적으로 제안한

Lemke社의 DCS가 inductive & capacitive sensor가 되는 원리는 그림 4에 보였다.

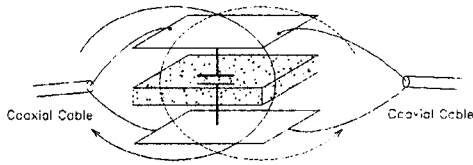


그림 4. Lemke DCS의 원리

2.2 방향성센서(DCS)의 설치

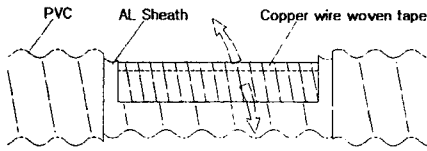


그림 5. 케이블의 DCS 설치 준비

접속재 외부 수 cm 떨어진 지점에 PVC 쉬스 제거 후 AL 쉬스를 DCS 크기보다 조금 크게 제거해 내고 케이블의 반도전층 위에 DCS를 장착한다. 제거해낸 AL 쉬스 위에는 AL호일을 감아서 케이블의 차폐층을 유지시켜 준다. 케이블의 반도전 층이 저주파에서는 도체에 가까우나 고주파에서는 절연에 가까운 점을 이용하여 케이블 반도전 의도가 있음에도 PD 신호를 coupling 할 수 있다. DCS를 실제 케이블에 장착한 모습은 그림 6과 같다.



그림 6. DCS가 케이블에 장착된 모습

2.3 시스템의 측정 원리 및 교정(calibration)

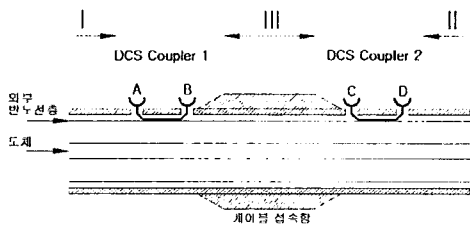


그림 7. DCS의 설치

그림 7과 같이 접속함 양쪽에 DCS를 장착하면 표 1과 같이 임펄스 방향에 따른 신호 검출을 할 수 있다. 이것을 측정장비에서 신호처리하면 주변환경이 심한 잡음을 나타내더라도 접속함 내부에서 일어나는 PD 신호를 정확히 구별할 수 있으며, 이 방법은 일본 등지에서

유입된 신호에 Neural network이나, Fuzzy이론을 적용하여 잡음과 PD 신호를 구별하는 방법보다 우수하다고 할 수 있다. $(B \geq 2 \times A) \wedge (C \geq 2 \times D)$ 인 경우를 접속함 내부의 PD 신호로 판정하며, 이 경우 B, C 단자에서 검출되는 시간차를 측정하면 PD의 발생위치를 수 cm까지 정확하게 판정할 수 있다.

표 1. DCS 신호유입방향과 각 단자 검출 관계

단자	左측유입신호	右측유입신호	접속함내부신호
A	○		
B		○	○
C	○		○
D		○	

HFPD 측정은 통상의 저주파 PD 측정과 다른 교정 과정을 거친다. 그림 8과 같이 한쪽의 센서를 통해서 전하를 주입하고 다른 한쪽의 센서에서 그 전하값을 측정하여 임펄스 신호가 접속함을 통과하면서 감쇠되는 비율을 dB로 계산하여 실제 시스템에서는 접속함의 중앙에서 PD가 발생할 때의 값이 표시되도록 보정한다. 이때 표준 전하 주입기로는 고주파 PD 측정 시스템 전용의 것을 사용해야 한다. 즉, rise time이 1ns 이하의 초고속 임펄스 신호인 것을 적용한다.

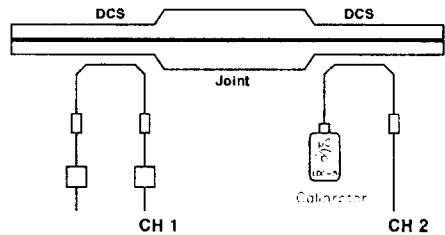


그림 8. DCS의 교정(calibration) 방법

2.4 시스템의 특징

Lemke의 LDY 730 시스템은 1pC 이하의 측정감도를 가지며, 2MHz~500MHz의 주파수 영역에서 측정하고 고전압 인가중에도 전원을 차단하지 않고 교정이 가능하다. 기본 4 channel에 multiplexer를 내장하면 8개 측정대상에 적용할 수 있다. 시스템 내부에는 radio, TV 주파수 bandstop filter와 500MHz 이하의 신호만 처리하는 lowpass filter가 있어 이 filter의 동작을 선택할 수 있다.

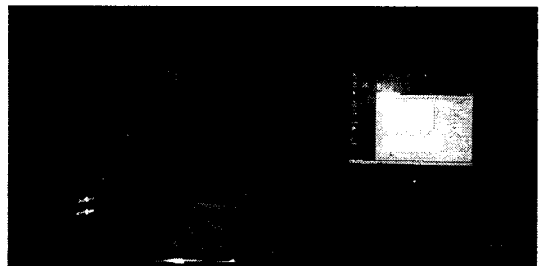


그림 9. 설치된 LDY 730 시스템

아사에서는 345kV 2000mm² XLPE 케이블과 EB-A, EB-G, PNJ, PIJ등의 접속재로 그림 10과 같은 모의 선로를 구성하고 각 접속재 양단에 DCS를 설치하였다. 측정은 동축케이블로 연결하여 수십 m 떨어진 control room에서 수행하였다.

2.5 모의선로 구성

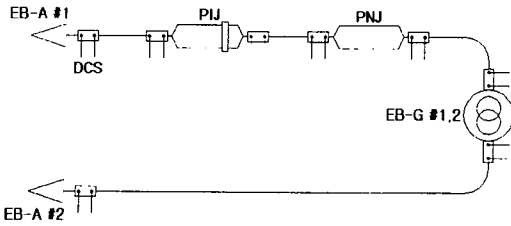


그림 10. 모의선로 구성 및 측정 위치

모의 선로는 1상의 폐회로로 구성되어 CT를 이용하여 heat cycle 시험이 가능하도록 하였으며 전압의 인가는 두 EB-A 단말 사이에 연결된 bus bar를 이용하였다. DCS는 중간 접속함은 양단에 설치하였고, 종단 접속함은 한 개씩만 설치하였으나 모의 선로가 폐회로 이므로 중간 접속함과 같은 검출 방식을 적용할 수 있었다.

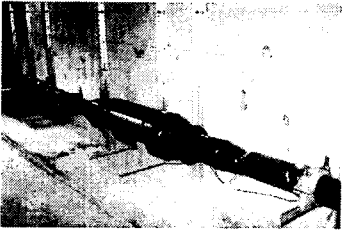


그림 11. PNJ 및 DCS 설치 사진

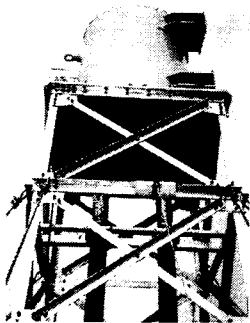


그림 12. EB-G 및 DCS 설치 사진

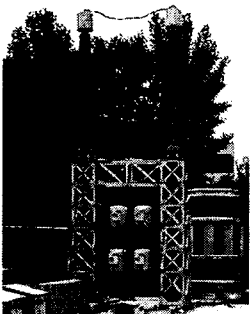


그림 13. EB-A 및 DCS 설치 사진

2.6 측정 결과

모의 선로에 DCS를 장착하고 EB-A 단말 사이에 연결된 bus bar를 이용하여 AC 340kV를 인가하였다. 이 시험전압은 345kV 케이블의 Prequalification Test 시험 전압이다. 이 전압에서 각 접속함 별로 측정된 PD 값은 다음 표 2와 같다.

표 2. AC 340[V] 인가시 PD 측정량

측정 접속함	측정값 [pC]			비고
	Ch 1	Ch 2	PD	
PIJ	3	1	0	
PNJ	3	1	0	
EB-G #1/2	4	1	1	잡음추정
EB-A #1/2	118	7	0	외부 코로나

EB-A #1 및 PNJ, PIJ의 Ch 1이 검출값이 높은 것은 변압기에서 전압인가 리드선이 EB-A #1에 연결되어 있으며 그 굵기가 얇아 코로나가 발생하여 그 신호가 유입된 것으로 사료된다. 그러나 Ch 2에서는 그 값이 적고 Ch 1과 Ch 2의 신호를 처리하여 PD 신호인지 아닌지를 판정할 수 있었다.

이상의 실험은 차폐실이 없는 아사 옥외 시험장에서 수행된 것이며 주위의 잡음을 제거하는 어떤 장치도 설치되지 않았으며 평일 오후 시간에 측정된 값이다.

3. 결 론

본 논문에서는 방향성센서를 이용한 고주파 부분방전 측정 시스템에 대하여 소개하고 이 시스템을 도입하여 케이블 및 접속함에 설치하고 부분방전을 측정하여 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1. 전력 케이블 및 접속함의 사용 중 활성상태 감시 시스템으로는 차폐실 없이 고주파 영역에서 PD를 측정하는 고주파 부분방전 측정시스템이 유용하며, 신호 검출 방식으로는 방향성센서(DCS)를 이용하는 방식이 우수함을 이론적으로 밝혔다.
2. 방향성센서를 이용한 방법은 두 개의 센서를 이용하므로 교정시 한 개의 센서에 표준 전하를 주입할 수 있어 활성상태에서 교정이 가능하다.
3. 345kV 2000mm² XLPE 케이블과 EB-A, EB-G, PNJ, PIJ로 구성된 모의선로에 센서를 장착하고 AC 340kV의 고전압을 인가하여 부분방전을 측정할 결과 주위에 잡음이 존재하여도 우수한 검출성능을 보였다.
4. 향후 초고압 지중선로의 감시시스템으로 적용이 가능하며, 신뢰성있는 결과를 기대할 수 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] 한국전력공사 전력연구원, "송전케이블의 절연열화 진단기법의 정립 및 수명예측에 관한 연구(최종 보고서)", '99전력연-단762, pp. 115-163, 1999.
- [2] W. Kalkner et al., "Directional Coupler Sensor for Partial Discharge Recognition on High Voltage Cable Systems", 10th International symposium on High Voltage Engineering, pp. 439-442, 1997
- [3] E. Lemke et al., "On-site PD measurement on high voltage cable accessories using integrated sensors", 9th International symposium on High Voltage Engineering, pp. 5608-1~5608-4, 1995
- [4] E. Lemke, "State of the art in detection and measurement sensitivity of HF discharge patterns using the PD probe", CIGRE SC 21, 1995
- [5] Min CHEN et al., "Development of a Portable Partial Discharge Measuring System Using Multiple Logic Recognition", SEI technical review, No.51, pp30-37, 2001.1