GIS 부분방전 신호와 도착 시간차 분석을 통한 PD발생 위치 추적

Partial Discharge Position Tracking Method using a GIS Partial Discharge Signal and Arrival Time Difference

최 문 규* · 차 한 주*
(Mun-Gyu Choi · Hanju Cha)

Abstract - This paper analyzes of PD occurrence position through an analysis of the arrival time difference between the GIS partial discharge signal. Because of GIS (Gas Insulated Switchgear) is a facility very important power equipment and as part of the equipment that make up the power system, the stabilization of the power industry, which accounted for 88.5% share of GIS substation in the form of a substation is an important equipment for power supply. In the situation where we are gradually expanding the need for preventive diagnosis in order to improve the efficiency of equipment management and failure prevention for Preventive diagnosis. In this paper as a method for extracting pre-defect of failure of GIS Apply the average value method of calculating the 5 times each using a pulse of the first time of the second pulse (Δt) with an oscilloscope generation position PD(Partial Discharge). the results of GIS internal inspection, the partial discharge of the actual the position of the partial discharge was confirmed with an accuracy of about 82% of positions. Arrival time difference in the most effective manner if the partial discharge of GIS internal occurs by applying the averaging method and TOA(Time of arrival) method, the partial discharge occurs you through the measurement and analysis of PD signal occurs was confirmed in the experiment are presented and diagnostic methods location tracking.

Key Words : Detection of partial discharge signal, Position of GIS defect, TOA(Time of Arrival)

1. 서 론

GIS(Gas Insulated Switchgear)는 전력계통을 구성하는 설비의 한 부분[1]으로서 전력공급에 중요한 설비이다. 지속적인 GIS설비의 투자로 예방진단을 통한 고장의 사전 방지와 설비의 효율적 관리를 위하여 예방진단의 필요성이 점차 확대되고 증가 하고 있는 추세이다. 현재 국내 GIS 변전소에서 진단 이 필요한 전력설비는 약 2만여 개소로 전국에 분포되어 있다. GIS가 제조상의 결함이 없거나 절연이 양호하면 정전이 없는 무결점의 전력공급이 가능하지만, GIS를 장기간 사용하면 SF6 가스 분해, 수분, GIS내 이물질, 제작 결함 등의 영향에 의해 성능이 저하되며 수명이 단축되어 결국은 고장으로 진전된다. 따라서 이러한 고장을 미연에 방지하기 위해, 주기적으로 설비에 대한 부분방전 발생 진단으로 GIS 고장을 예방 할 수 있다. 기존의 부분방전 위치 검출방식은 이론적인 위치추적 방안을 기준으로 하여 오차를 축소할 수 있는 방법이 아닌 위치 추적방법에 대하여 언급한 것으로, 전기적 방법인 UHF(Ultra High Frequency) 진단법[2][3]을 제시하였다. 따라서, 좀더 GIS 내부의 PD 발생위치에 접근하기 위하여 펄스의 특성과 시간차에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 정확도를 향상시키기 위해 UHF신호를 이용하여 부분방전을 오실로스코프를 통하여 검출하는 기술로 Δt 의 산출을 5회씩 평균법을 적용하여 오차를 감소시킬 수 있었으며, 실제적으로 PD발생위치를[4] 검증함으로써 정확도를 80[%]이상으로 향상시킬 수 있었다. Δt 의 평균법을 활용, 적용, 검증을 함으로써 PD의 발생위치를 허용 오차범위 안에서 상당히 접근한 방법으로 GIS내부에서 부분방전발생시 파형측정, 도착 시간차 분석에 의한 위치추적과 결함을 해석하고 이를 통한 부분방전 위치 추적 진단방법에 대하여 서술하였다[5][6][7].

2. 본 론

2.1 부분방전 신호 검출방법

GIS 설비의 고장예방을 위하여 주기적으로 온라인 예방진단, 휴대용 부분방전 진단 시스템을 활용하고 있으며, 오실로스코프, 주파수 분석기 등 진단장비는 부분방전 위치 추적용으로 부분방전 발생에 따른 위치를 추정하는 정밀 진단장비로 활용하고 있다. GIS 내부의 결함유무는 UHF(Ultra High Frequency) 대역의 센서와 진단시스템에서 소프트웨어 분석 알고리즘을 통하여 GIS의 결함상태를 확인하고 결함유무를 검출하는 방식이 사용된다. 기술의 발전에 따라 국내에서는 2000년대 부분방전 예방진단시스템과 휴대용 부분방전 진단장비가 편리하고 활용성이 높은 진단장비로 보급되어 활용되고 있으며, 특정대역(UHF)의 주파수를 측정하여 GIS 내부 결함유무를 확인하는 방법이 가장 널리 사용되고 있다[2].

또한, GIS 부분방전 정밀진단장비는 불량설비를 검출하는

* Dept. of Electrical Engineering, Chungnam National University

† Corresponding Author : College of Information and Communication Engineering, Facility Diagnosis Center, KEPCO

E-mail : cmg8624@kepcoco.kr

Received : June 9, 2013; Accepted : August 8, 2013

진단장비로 절연체의 열화뿐만 아니라 GIS 내부의 국부적인 결함까지 검출이 가능하여 GIS 고장예방 진단장비로 빠르게 자리를 잡고 있으며, GIS 고장예방을 위하여 기기 내부 결함 시 방출되는 전자파의 발생전압을 측정하여 위치를 검출하는 오실로스코프와 주변 주파수를 분석하는 주파수분석기 진단장비가 도입되어 활용되고 있으며, 여기서는 펄스와 신호의 Δt 를 측정부분을 중점적으로 다루고자 한다.

2.2 GIS 부분방전 위치 추적 방법

GIS 내부에서 발생하는 부분방전 신호검출을 위한 방법으로 그림 1과 같이 회로를 구성을 한다.

그림 1 GIS 부분방전 신호 취득을 위한 구성

Fig. 1 Configuration to obtain the GIS partial discharge signal

그림 1은 GIS 내부에서 발생하는 부분방전 신호를 검출하기 위하여 스페이스에 내·외장 UHF센서를 통하여 PD신호를 취득, 분석하는 것을 보여준다. 부분방전 발생 시에는 위치추적을 하기 위하여 펄스신호를 측정하여 PD발생 위치를 검출할 수가 있다[7].

2.3 부분방전 신호검출1

GIS 내부결함으로 부분방전에 의해 발생하는 전자파 신호를 On-Line 예방진단 시스템과 휴대용 부분방전 장비를 통하여 검출이 가능하며, 신호분석과 크기를 측정 후 부분방전 발생위치까지 추적이 가능하다. 이러한 기법은 일반적인 부분방전 신호를 검출하는 기술로 널리 사용하고 있는 방법이다[8].

그림 2는 362kV GIS에서 발생한 부분방전 신호를 온라인 예방진단 시스템과 휴대용 부분방전 진단장비에서 측정 한 파형이다.

부분방전 진단장비에서 PRPD(Phase Resolved Partial Discharge), PRPS(Phase Resolved Pulse Sequence)¹⁾ 파형을 분석해 보면 플로팅 신호²⁾의 결함이 최고 0[dBm]의 크기(그림 2 PRPD 원부분)로 GIS 내부에 단로기 부위에서 부분방전이 발생하고 있음을 추정할 수가 있다.

1) PRPD(Phase Resolved Partial Discharge) : 부분방전 데이터를 위상으로 누적하여 보여주는 기능

PRPS((Phase Resolved Pulse Sequence) : 실시간으로 들어오는 Pulse 데이터를 순차적으로 보여주는 기능(60Hz 한주기마다 표시)

2) 플로팅 신호 : 전계완화 실드가 고압도체에서 이완 또는 탈락된 경우 발생 신호

그림 2 온라인 예방진단시스템과 휴대용PD진단 장비 신호 취득

Fig. 2 Online prevention diagnostic system and signal acquisition of a portable diagnostic device PD

2.3.1 부분방전 위치 추적

부분방전의 전자파 신호는 내장센서와 에폭시 절연체를 통하여 방사된 신호를 외장형 센서를 통하여 측정할 수가 있다. 진단방법은 UHF 외장형 센서를 이용하여 스페이스 2개소에서 측정된 부분방전의 신호를 취득하고 오실로스코프를 활용하여 크기와 패턴 확인이 가능하다. GIS 내부 노이즈 측정, 주파수 분석, 부분방전 주파수 측정, PRPD와 PRPS 등으로 측정 데이터 파형 분석이 가능하다.

진단 방법으로는 부분방전이 발생하는 부위의 스페이스 3개소(Ch1, Ch2, Ch3)를 통하여 신호를 취득하였으며, 신호분석결과와 부위를 축소하여 전자파 신호를 검출하여 방전신호의 도착시간차에 의한 부분방전 발생위치를 추정하게 된다. 방전 신호는 GIS를 따라 빛의 속도 $c(3 \times 10^{10} \text{ cm/s})$ 로 전파되기 때문에 서로 다른 센서에 신호도착 시간이 상이하게 된다. 결함에 가까운 센서에서 신호가 도착한 후 Δt 시간 후 다른 센서에 도착을 하게 되며 가령, 센서의 간격이 "L"이라 할 때 Δt 와 "L"을 측정하여 센서와 결함의 거리를 추정을 할 수가 있다[2][7].

이러한 측정방법은 GIS 내부에서 부분방전이 발생할 때 결함위치 추정의 정밀도가 매우 높은 특징을 가지고 있다.

이러한 진단방법은 외부노이즈와 부분방전신호와 구별할 수 있으며, 외부노이즈 유입에 따른 GIS 내부에서 부분방전 발생유무를 확인할 수 있는 방법으로 자주사용이 되고 있다. 그림 3에서 부분방전이 발생하고 있는 부위의 부분방전 크기를 3개소(Ch1, 2, 3) 스페이스를 통하여 측정 한 그림이다.

그림 4는 오실로스코프(DPO 7354C:Tektronix)를 활용하여 B상 위치별 측정 한 결과로 Ch2에서 다른 위치보다 큰 신호가 검출되었으며, 이를 통하여 Ch1 ↔ Ch2간 부분방전 발생 위치 추정이 필요한 것을 알 수가 있다. 부분방전 신호취득에 앞서 부분방전 발생하는 부위의 스페이스와 스페이스간 총 거리 산출이 필요하다. 그림 3에서와 같이 총 거리가 112.5[cm]일 때, 두 구간을 이용하여 부분방전 신호를 취득할 수가 있다.

그림 3 부분방전 발생부분 신호 취득 구간

Fig. 3 Signal acquisition interval of partial discharge

그림 4 부분방전 발생 부위별 신호 측정

Fig. 4 Measurement of partial discharge signal for each

방전신호의 도착시간차(Δt)를 측정 한 결과 그림 4에서와 같이 5회 측정한 결과 평균값이 1.5[ns]로 측정되었으며, 부분방전 발생위치 계산결과 Ch2를 기준으로 약 32.7[cm]에서 발생하는 것으로 계산되었다.

오실로스코프 Δt 측정 과형	Δt [ns]	거리 산출
	① 1.5	$l_1 = (112.5 - (30 \times 1.5)) / 2$ $= 32.7 \text{ cm}$
	② 1.6	
	③ 1.4	$l_1 = (\text{총거리} - (30 \times \text{ns})) / 2$ 총거리: 112.5[cm] $\Delta t : 1.5\text{ns}$
	④ 1.6	
	⑤ 1.5	
측정값	$\Delta t = 1.5$	32.7 cm

그림 5 시간 도달차에 의한 Δt 값 산출Fig. 5 The output of the value of Δt by the difference to reach the time

지금 현재, TOA(Time of Arrival:도착 시간차)방법은 부분방전 발생위치 추적을 위하여 가장 적합한 방법중의 한가지이다[2][4]. 부분방전 발생위치의 오차를 줄이기 위하여 그림 5에서와 같이 5회 평균법을 사용하여 Δt 산출방법을 적용하였다.

방전신호는 GIS를 따라 빛의 속도 c 로 전파 ($c = 3 \times 10^{10} \text{ cm/s}$), 서로 다른 위치의 Sensor1, 2에 신호도착 시간이 상이함에 따라 결함에 가까운 센서 1에서 신호가 도착한 후 Δt 시간 후 센서2에 신호가 도착 하게 된다. 센서들의 간격

그림 6 도착 시간차에 의한 위치 추정방법

Fig. 6 The position estimation method by time of arrival

을 “L”이라 하고 센서들과 결함의 거리가 “l1” 및 “l2”라 할 때 식(1)이 성립된다.

$$L = l_2 + l_1 \quad (1)$$

여기에서 Δt 는 식(2)와 같이 표현이 가능하다.

$$\Delta t = \frac{l_2 - l_1}{c} \quad (2)$$

식(1)과 식(2)를 연립한 식(3)을 통하여 센서와 결함사이의 거리를 계산해 보면 다음과 같다.

$$l_1 = \frac{1}{2}[L - (c \times \Delta t)] \quad \text{여기서 } c = 3 \times 10^{10} \text{ cm/s} \quad (3)$$

빛은 1 [ns](10^{-9} 초) 동안 30[cm] 전파를 한다[9].

2.3.2 부분방전 발생 위치 검토

부분방전 발생위치에 따른 GIS 정밀점검 결과 그림 7처럼 GIS 내부에서 일부 SF₆ 가스 분해현상을 발견 할 수가 있으며, 단로기 가동자 측에서 조작부 이완으로 인하여 불완전 접촉으로 부분방전의 흔적이 발생 한것으로 이로 인하여 도체 부근에서 플로팅 결함의 부분방전신호가 발생하였음을 알 수가 있다. 이러한 GIS 내부에서 부분방전 발생 시 시간 도달차에 의한 위치 추적에 적합한 기법으로 사용되고 있다.

그림 7 GIS 내부정밀점검 결과

Fig. 7 Inspection result of internal GIS

2.4 부분방전 신호검출 2

외장형 센서 이격시 측정된 파형이 축소됨으로 내부에서 발생하는 PD로 추정하였으며, GIS 부위별로 휴대용 부분방전 측정장비(PSD Tech)로 측정을 시행 하였다. 휴대용 PD 진단장비를 이용하여 PD를 측정할 수 있는 각 부위의 스페이서를 통해 PD크기를 측정한 결과, GIS의 CB하단①>CB BUS CT측②>#1,2DS Com ③>CB상단④ 스페이서 순으로 (그림 8) 발생하였다. 관통형 스페이서는 가스구획용 스페이서와 동일 재질(에폭시)로 PD측정이 가능한 재질이다. GIS의 각 Bay별 부분방전 신호측정값은 그림 8과 같다.

그림 8 위치별 PD 크기 측정

Fig. 8 Measurement of PD size of each location

2.4.1 부분방전 발생 위치 추적

부분방전 신호가 큰 부분인 CB 하단과 CB 1차측 ①과 CT측 관통 스페이서 ②에서 부분방전 위치추정을 하기 위하여 신호펄스의 값을 측정하였다. 그림 9의 좌측 그림은 GIS 스페이서간 거리(L)를 측정하였으며, 우측 그림은 Δt 를 측정 한 장면이다.

그림 9 CB 하단- CB 1차 CT측 관통부 PD 위치 측정

Fig. 9 PD position measurement of the CT side CB - CB lower

아래 그림 10은 방전신호의 도착시간차를 이용하여 위치를 추정 한 값으로 5회씩 총 2회를 측정한 결과이다.

그림 10에서와 같이 CB 하단- CB BUS CT측 관통부 파형을 5회씩 2회 측정 평균값 계산결과 PD발생 추정 위치는 CB 하단부 스페이서에서 약 12.65[cm]위치에서 발생하고 있음을 추정 할 수 있었다.

측정 파형	측정시간	PD발생 추정 위치(cm)
	① Δt 3.0	$L_1(\text{CB 하단 스페이서측})$ $= (L - C * \Delta t) / 2$ $= (124 - (3 * 10^{10} * 3.29 * 10^{-9}) / 2)$ $= 12.57 \text{ [cm]}$ $(\Delta t : \text{ns})$
	② Δt 3.5	
	③ Δt 3.3	
	④ Δt 3.3	
	⑤ Δt 3.4	
	① Δt 3.3	
	② Δt 3.4	
	③ Δt 3.3	
	④ Δt 3.2	
	⑤ Δt 3.3	
평균 값(ns)	Δt 3.29	12.65 [cm]

그림 10 부분방전 위치 추적

Fig. 10 Tracking of partial discharge location

그림 11 CB 하단부 ①측 전압크기 측정값

Fig. 11 Measurement of the voltage magnitude of the CB lower side ①

그림 11에서와 같이 GIS 스페이서에 설치한 ①측 UHF 센서로부터 약 1.016[V]의 신호가 측정되었으며 GIS 내부에서 발생한 PD로 인한 신호가 검출되었다.

2.4.2 부분방전 발생위치 검토

그림 12 GIS X-Ray 진단결과

Fig. 12 GIS X-Ray diagnostic results

GIS 정밀진단 결과 스페이서 내부에서 그림 12와 같이 공극에 의한 절연체 결함으로 부분방전 발생위치를 알 수 있었다.

2.5 PD 발생 위치 정확성 검토

PD 발생위치의 정확성을 검토한 결과 아래 표 1과 같은 값을 도출할 수가 있었다.

표 1 PD발생 위치 정확도 검토

Table 1 Result of the PD occurrence position accuracy

170kV GIS			
PD발생 계산위치[cm]	실제위치[cm]	오차율[%]	정확도[%]
12.57	15	16 (2.43cm)	83
362kV GIS			
PD발생 계산위치[cm]	실제위치[cm]	오차율[%]	정확도[%]
32.7	40	18(7.3cm)	82

도착시간차에 의하여 PD발생위치와 실제 부분방전이 발생한 위치의 오차율을 계산한 결과 약 18[%]미만이었으며, GIS별로 170kV GIS 83[%], 362kV 82[%]의 정확도가 산출되었다.

3. 결 론

본 논문에서 부분방전 발생 시 위치를 검출할 수 있는 진단방안과 위치를 추정할 수 있는 방법에 대하여 살펴보았다.

기존의 UHF센서를 통하여 오실로스코프를 활용함으로써 위치를 추적할 수 있는 방법에 대하여 언급되었지만 오차를 감소시키기 위하여 PD펄스간의 시간차 산출에 있어 적정 측정 횟수 5회를 적용한 평균법 Δt 에 의해 부분방전 측정 위치 정확도를 82[%]이상 접근을 할 수가 있었다. 5회 이상 시에는 거의 비슷한 수준으로 Δt 가 산출 되었다.

부분방전 발생 시에는 측정환경에 따라서 방전신호의 도착시간차를 이용한 전파 진단법 TOA(Time of Arrival)의 위치 추정 방법을 적용하면서 5회 평균값 Δt 값을 활용한다면 PD발생위치의 오차를 축소하면서 더욱 더 정확한 위치를 추적할 수 있는 방법이라 생각하며, 설비의 고장을 사전에 예방 할 수 있는 방법을 제안하였으며, 실험으로 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 한국전력공사의 지원에 의하여 이루어진 과제로서, 관계처실에 감사드립니다.

References

- [1] "Power Office Total Information System", KEPCO, 2013
- [2] Jin-yul Yoon et al. Research of GIS partial discharge detection technology (Final report), KEPCO, August, 2002.
- [3] "Application of Combined PD Sensor for GIS PD Detection and Condition Monitoring", 2008 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Beijing, China, April, 2008
- [4] Jin-yul Yoon et al. "Study of UHF partial discharge signal analysis technique for failure prevention of GIS" August, KEPCO, 2004.
- [5] Sun-geun Goo et al. "Study of UHF partial discharge signal analysis technique for failure prevention of GIS", KEPCO, March. 2005.
- [6] Jin-yul Yoon et al. "GIS partial discharge diagnosis Case Studies", KEPCO, August, 2008.
- [7] Sun-geun Goo et al. "Novel Calibration Method of UHF Partial Discharge Sensor for GIS", Proc. of ICEE 2002, Jeju, 2002.
- [8] "Pattern generator of the type of signal and broadband microwave (UHF) partial discharge signal", Korean Patent Registration No. 10- 0729068, 2007.
- [9] "Substation equipment diagnosis Professional team", KEPCO, 2011.

저 자 소 개

차 한 주 (車翰周)

1988년 서울대 전기공학과 졸업, 1990년 포항공대 전자전기공학과 졸업(석사), 2004년 미국 Texas A&M University, College station(공박), 1990~2001년 LG 산전 연구소 책임연구원, 2009년 미국 United Technology Research Center 방문 교수, 2005년 ~ 현재 충남대학교 전기공학과 부교수

최 문 규 (崔文圭)

1967년 2월 27일생. 2001년 금오공대 컴퓨터공학과 졸업, 2011년 충남대학교 전기공학과 졸업(석사), 2013년 ~ 동 대학원 박사 과정, 1987년 ~ 현재 한국전력공사 설비진단센터 송변전팀 차장 재직 중