

하이브리드센서를 이용한 유입식변압기 대한 고장진단 사례연구

오승찬*, 이남호*, 이흥호**
 한국원자력연구원*, 충남대학교 전기공학과**

The study of partial discharge diagnostic in oil type transformer using the hybrid sensors

Seung-Chan Oh*, Nam-Ho Lee*, Ho-Heung Lee**
 Korea Atomic Energy Research Institute*, ChungNam University**

Abstract - 본 논문에서는 유입식변압기에 대한 부분방전진단방법에 있어 초음파센서 및 HFCT(High Frequency Current Transducer)센서의 동시측정방법 이용하여 유입식변압기 내부에서 발생한 부분방전신호의 위치추적 및 현장잡음에서의 유효한 부분방전 위치추적을 위한 하이브리드 센서적용방법을 제안하고 국내외의 부분방전진단시험을 통하여 제안한 진단방법을 이용한 부분방전위치추적에 대한 고장진단사례를 소개하고자 한다.

1. 서 론

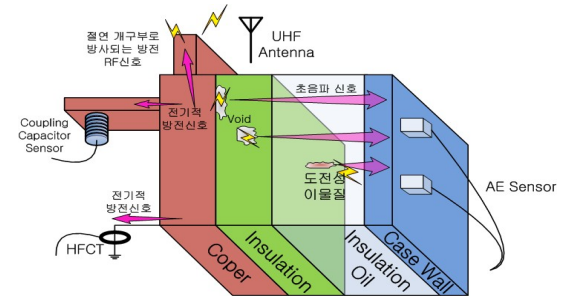
최근 국내외의 전력수요의 급증에 따른 변전설비의 대용량화로 인하여 절연불량으로 인한 사고사태가 증가하고 있다. 절연열화로 인한 부분방전은 고전압 전력설비의 제작결함 및 열적, 전기적, 기계적 스트레스로 인해 절연물내부의 공극 및 균열, 박리 등에 의한 전계의 집중으로 인하여 발생된다. 이러한 부분방전현상은 공극의 확대 및 전기트리의 형태로 발전되며 지속되는 경우 절연파괴로 인한 심각한 수준으로 확대된다. 이러한 이유로 인하여 전력용 변압기에 대한 다양한 형태의 부분방전분석 및 예방진단을 위한 많은 연구가 진행되고 있다.[1] 유입식변압기(Oil type transformer)의 절연열화로 인한 부분방전현상을 진단하는 방법 중에 유증가스분석(Dissolved Gas Analysis)방법이 현재까지 가장 신뢰성 있는 진단방법으로 알려져 있다. 유증가스 분석법은 부분방전이나 코로나 방전, 또는 국부과열로 인하여 수반되는 열 발생으로 인하여 절연지 및 절연유, 프레소브드 등에서 열분해를 일으켜 생성되는 수소(H₂), 메탄(CH₄), 에탄(C₂H₆), 에틸렌(C₂H₄), 아세틸렌(C₂H₂)과 같은 가스를 발생하게 되는데 이중 수소의 경우 과온전으로 인한 열적스트레스에 의하여 생성되며 에틸렌과 아세틸렌가스의 경우 부분방전과 같은 고온 환경에서 생성된다. 따라서 유증가스분석법은 절연유내의 이상 현상으로 발생한 가스발생정보 및 발생량에 따라 열화진단 기준치열화진단 기준치에 따른 변압기의 이상 유무를 판단하는 방법[2][3]이다. 그러나 유증가스분석법의 특성상 부분방전현상의 유무를 판정하는 높은 신뢰성에도 불구하고 변압기내의 부분방전현상이 발생한 고장위치를 찾기에는 많은 어려움이 있다. 실제로 이러한 문제로 인하여 부분방전이 확인된 변압기에 대한 고장수리 시 발생하는 많은 시간과 비용이 소요된다. 따라서 본 논문에서는 국내외의 유입식 변압기(Oil type transformer)에 대하여 운전 중 부분방전 진단(On-line partial discharge diagnostic)을 통하여 가스분석을 통하여 부분방전현상이 판단되는 변압기에 대한 고장위치추적에 대한 사례분석에 대한 연구를 수행하였다.

2. 본 론

2.1 하이브리드 센서를 이용한 부분방전신호측정방법

유입식변압기에서의 절연열화로 인하여 발생하는 부분방전은 일반적으로 임펄스 형태의 음향신호(Acoustic signal)와 방전전류신호(PD Current signal) 및 전자파신호(Electromagnetic signal)형태로 나타난다.[4] 그림1에 나타난 것과 같이 유입식변압기의 경우 외벽이 차폐된 구조로 변압기 내부의 PD발생에 의하여 외부에서 검출하기에 적합한 신호는 초음파신호와 PD전류신호이다. 실제 부분방전에 의하여 발생한 초음파신호는 액체형태의 절연유 매질을 통하여 케이스외벽으로의 전달되는 특성을 가지며 전류신호의 경우 부분방전 시 발생한 PD전류가 케이스접지로 흐른다. 따라서 유입식변압기내부의 부분방전현상을 측정하기 위한 방법으로 AE센서 및 HFCT센서를 이용한다. 이러한 유입식변압기에서의 부분방전신호검출방법은IEEE Std C57.127-2000에서도 권고하고 있는 방법이다. 그러나 실제 전력설비가 운용중인 현장에서는 다양한 기계적 잡음과 강력한 전기적잡음신호로 인하여 부분방전신호를 취득하기에 많은 어려움이 있다. 따라서 이러한 근본적인 어려움을 해결하기 위한 방안으로 본 연구에서는 현장잡음으로 인하여 부분방전신호의 측정 시 발생할 수 있는 오류를 최소화하기 위하여 부분방전현상으로

인하여 발생하는 서로 다른 물리적 현상을 동시에 측정하기 위하여 음향신호 및 전기적 전류신호를 동시에 측정하여 방법을 적용하였다. 이러한 방식의 장점은 부분방전 현상 시 발생하는 서로 다른 물리적 현상인 음향신호와 전기적신호를 동시에 측정함으로써 현장에서 발생하는 기계적/전기적 잡음환경에서의 부분방전신호측정에 대한 신뢰성을 확보하고 초음파의 신호의 매질을 통한 전달특성을 이용하여 서로 다른 위치의 센서로부터 취득된 신호정보에 대한 TOF(Time of Flight) 및 신호크기(Amplitude)비교분석을 통한 위치추적이 가능하다는 점이다.[4] 그림1은 유입식변압기에서의 절연열화현상으로 부분방전신호발생시 방출되는 신호의 형태와 이러한 부분방전 신호를 검출하기 위한 센서의 적용방법을 설명한다.



〈그림 1〉 부분방전신호의 유형 및 센서신호취득방법

2.2 부분방전 진단사례분석

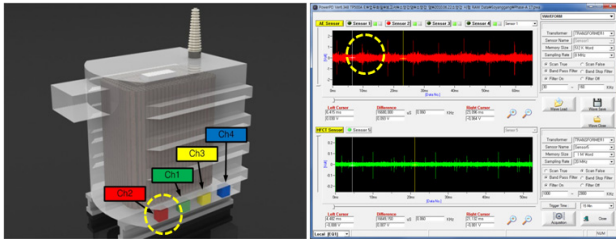
2.2.1 전기적 잡음환경에서의 부분방전 위치추적 사례

다음은 2010년06월22일 실시된 소양강 수력발전소 1호기 주변압기에 대한 부분방전진단시험에 대한 결과이다. 이번 진단시험에 적용된 방법은 초음파센서 및 HFCT센서를 이용하여 실시하였으며 부분방전 측정결과 A, B상 변압기의 경우 HFCT센서에서는 PD(Partial discharge)신호로 추정되는 신호가 검출되었으나 변압기 케이스외벽에 장착한 초음파센서에서의 부분방전신호가 검출되지 않는 결과를 얻었다. 따라서 초음파센서를 이용하여 실제 부분방전이 발생한 위치를 추적한 결과 그림 3 에서 보여주는 것처럼 C상변압기 하단부에서의 부분방전으로 인하여 발생한 초음파신호가 검출되었으며 발생한 주기적 특성이 HFCT센서에서 검출된 PD전류신호와 페턴이 일치되어 나타나는 것을 확인할 수 있었다.



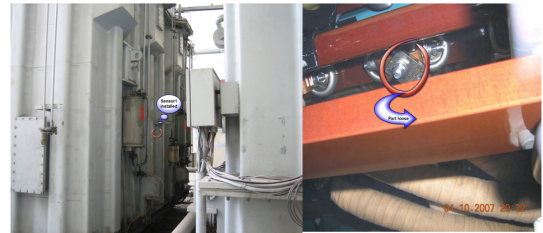
〈그림 2〉 유입식변압기의 부분방전진단 (소양강 수력발전소 1호기 Main TR, 2010.08.13)

따라서 A,B상에서 HFCT센서로 검출된 신호는 인접한 C상에서 발생한 부분방전신호가 원인인 것으로 판단할 수 있으며 실제 부분방전이 발생된 위치는 그림3에 나타난 것과 같이 변압기 하단 부근에서 발생되는 것을 확인할 수 있다.



〈그림 3〉 C상변압기에서의 유효부분방전신호 취득결과 (소양강 수력발전소 1호기 Main TR C Phase)

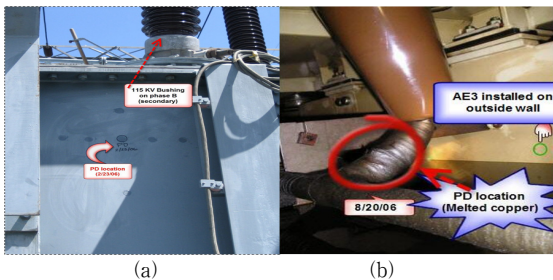
로 초음파신호 및 PD전류신호가 동시에 측정되는 것으로 확인할 수 있다. 따라서 고장위치를 확인하기 위하여 4개의 초음파센서를 이용한 위치추적결과 그림 7에 보여주는 것과 같이 변압기 내부의 부분방전현상은 변압기 내부 Winding Lead 결선부의 너트 풀림현상에 의하여 발생된 문제임을 확인할 수 있었다.



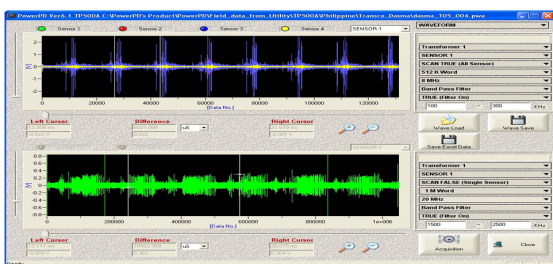
〈그림 7〉TR#31에서의 Winding lead에서의 접속점 풀림현상 (Qinghai aluminum Co. in China)

2.2.1 부분방전 위치추적 사례분석

다음은 태국의 Transco 전력회사에서 운용중인 300MVA급 #T05 변압기에 대하여 2006년02월23일 실시한 진단결과를 보여준다. 부분방전 측정방법은 초음파 센서와 HFCT센서를 이용하여 측정하였으며 4개의 초음파센서를 이용하여 TOF 방법을 이용하여 부분방전신호 발생원 추적을 실시하였다. 부분방전에 대한 위치추적 진단결과 그림4(a)에서 보여주는 것과 같이 B위상의 2차 부싱 리드부분에서의 부분방전발생이 확인되었으며 그림 5에서 보여 주는 것과 같이 초음파 및 PD전류신호 모두 검출되는 형태를 보여주었다. 부분방전진단 이후 이상신호검출로 인하여 2006년 03월22일에 실시한 절연유 가스분석결과 그림 6에 보여주는 것과 같이 에틸렌가스가 상당량검출된 것으로 확인되었다. 이후 2006년08월 O/H (Over Hall : 정밀 분해점검)을 통하여 변압기 외부에서 추적한 신호 발생원과 동일한 위치의 변압기 그림 4(b)에서 보여주는 것과 같이 내부 B위상의 부싱리드의 주절연테이프의 절연열화현상이 발생된 것을 확인하였다.



〈그림 4〉B 상 부싱리드에서의 주절연물 열화에 대한 부분방전 위치추적 결과 (#T05 in Transco Electric Co., Philippine)



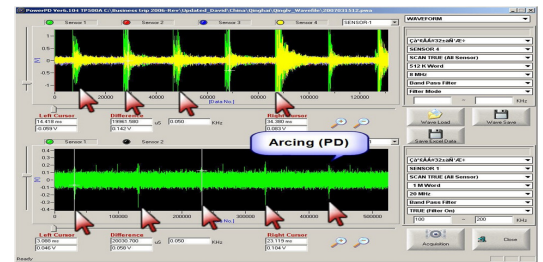
〈그림 5〉 B 상 부싱리드에서의 주절연물 열화로 인한 부분방전 신호취득 결과 (#T05 in Transco Electric Co., Philippine)

Gas Analysis	03/22/2006	10/26/2005	09/25/2005	09/14/2005	08/08/2005	Limits
Sample No	2175	2942	2937/2937	2932	2937	
Fluid Temp C	88	59	55	53	51	
Hydrogen (H2)	12	35	38	21	9	< 100
Methane (CH4)	< 0.05	21	28	22	6	< 120
Ethane (C2H6)	1061	110	20	19	6	< 65
Ethylene (C2H4)	< 1	12	10	10	5	< 50
Acetylene (C2H2)	0.00	< 1	7	4	< 1	< 35
Carbon Monoxide (CO)	84	< 25	175	136	40	< 350
Carbon Dioxide (CO2)	312	605	679	573	378	< 2500
Oxygen (O2)						
Nitrogen (N2)	1171	98	279	212	66	< 720
TDCO (ppm)	3.71	3.89	4.21	9.48		
CO2/CO						
O2/N2						
Equipment Condition	4	1	2	1	1	

〈그림 6〉 #T05 변압기에 대한 유증가스분석결과(2006.03.22)

2.2.2 접속점 풀림현상에 대한 부분방전진단사례

다음은 2007년 실시한 중국 칭하이에 위치한 알루미늄 공장 내에서 운용하는 유입식변압기에 대한 부분방전진단결과이다. 부분방전진단결과 그림 8에서 보여주는 것과 같이 아크형태의 부분방전이 검출되는 형태



〈그림 8〉 부분방전 신호측정결과 (TR#31, Qinghai aluminum Co. in China)

3. 결 론

소양강 수력발전소의 부분방전진단결과에서 보여주는 것과 같이 단일 종류의 센서를 이용한 부분방전의 진단방법에 있어 인접한 전력설비에서 유입되는 전기적 신호로 인하여 실제 부분방전이 발생되지 않은 지점에서 전기적형태의 PD신호가 검출되는 것과 같이 측정데이터의 신뢰성에 문제가 발생할 수 있다는 점을 재차 확인하였다. 따라서 현장잡음에 의한 측정오류를 최소화하기 위한 부분방전 신호측정 방법으로 음향 신호 및 전기적신호를 동시에 취득하는 하이브리드센서 검출방식이 효과적임을 말해준다. 또한 태국에서 실시한 #T05변압기에 대한 부분방전 위치 추적사례에서 볼 수 있듯이 비록 주 절연물의 열화가 상당부분 진행하여 박리현상이 발생되었기 때문에 O/H을 통한 육안점검으로 결함을 비교적 쉽게 재차 확인할 수 있었으나 주절연물 박리현상이 발생하지 않았다면, 육안점검만으로 결함 위치를 파악하기 어려운 상황이 발생할 수 있으며 중국의 사례에서 보여주는 것과 같이 변압기 내부의 도전선 구조물의 Part Loose현상은 점검자가 일일이 확인하지 않는 이상 불량을 확인하기 어렵다. 따라서 유증가스분석을 통하여 변압기 내 부분방전현상의 발생에 대한 유무 및 정도를 판단하는데 있어 높은 신뢰성을 가지고 있는 것은 사실이지만 실제 고장위치에 있어 가스분석정보만으로는 변압기 내 결함 위치를 정확하게 유추하는 데는 많은 한계를 가지고 있다. 앞서 설명한 다양한 사례에서 보여주는 것과 같이 유입식변압기의 고장위치추적방법에 있어 하이브리드 센서를 이용한 방법이 현장잡음으로 인한 측정오류를 최소화하기 위한 방법이며 부분방전발생위치를 추적하기 위한 매우 효과적인 방법임을 확인할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이동철, "전력기기 예방진단기술의 동향", 전기의 시계 제52권 12호 page : 78, 2003.02
- [2] 최인학, 정길조, 신명철, "유증가스 분석법에 Fuzzy 이론을 이용한 전력용 변압기 고장진단 기법 개발", 전기학회논문지 제50C권 제11호, page(s): 539-594, 2001.11
- [3] 임재운, 이대중, 이종필, 지평식, "전력용 변압기의 유증가스 해석을 위한 지능형 진단 알고리즘 개발", 조명·전기설비학회논문지 제21권 제7호, page(s):75-83, 2007.08
- [4] 조성민, 신희상, 김재철, 이양진, 김광화, "AE(Acoustic Emission)센서를 이용한 오차에 강인한 부분방전 위치추정 알고리즘에 관한 연구", 조명·전기설비학회논문지 제22권 제10호, page : 69-75, 2008.10,
- [5]곽희로, 김재철, 조국희, "개선된 초음파방법에 의한 변압기내 부분방전 위치 검출", 대한전기 학회 추계종합학술대회 논문집, 88-E-14, pp.252-257, 11 1988