

OFF-LINE 부분방전 측정 시 CV케이블에 의한 방전량 감도저하 현상 고찰

이종석*, 이은춘*, 채지석*, 함동령*, 옥연호**, 변두균***
K-water*, Power21**, 중부대학교***

A study of sensitive reduction from cable when off-line partial discharge measuring

Jong-Seuk Yi*, Eun-Chun Lee*, Ji-seog Chae*, Dong-Younf Ham*, Yeon-Ho Ok**, Du-Gyun Byun***
K-water*, Power21**, JoongBu University***

Abstract - 국내 전력설비는 70년대 이후 제3차 경제개발 5개년 계획에 따라 중화학공업의 발전과 함께 급속히 성장해왔다. 과거 개발 위주의 산업구조에서 급속히 팽창한 전력설비는 21세기에 들어서면서 30~40년 장기 사용에 따른 노후화가 진행되었고, 증가하는 전력수요에 대응하기 위한 발전 및 송전 용지 확보의 어려움으로 인하여 전력설비의 신규 증설에 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다. 따라서 전력설비의 안전성과 신뢰성을 확보하기 위해 적절한 교체시기 선정 및 최적의 자산관리 필요성에 대해서 최근 관심을 가지기 시작하였고, 이러한 전력설비의 최적 자산관리에 핵심적인 전력설비의 상태평가 기술의 발달로 과거 시간기준의 유지보수(Time Based Maintenance)에서 최근 노후설비의 증가와 진단기술의 발달에 따른 예방보전(Preventive Maintenance)에 의한 상태기준 유지보수(Condition Based Maintenance)개념으로 전환되고 있다. 고전압 회전기기(발전기, 전동기)의 상태평가를 위한 핵심기술인 Off-line 부분방전시험이 널리 적용되고 있으며, 본 논문에서는 부분방전 측정 시험 시 대상설비 단자부의 인출케이블에 의한 감도저하 현상에 대해 고찰 하였다.

1. 서 론

고전압 회전기기의 수명은 절연성과 밀접한 관계를 가지고 있으며, 수력 발전기의 고장 사고 중 50% 이상이 고정자 권선에서 발생하고 그 중 50% 이상은 절연열화에 의한 사고로 조사된 외국사례가 있다.

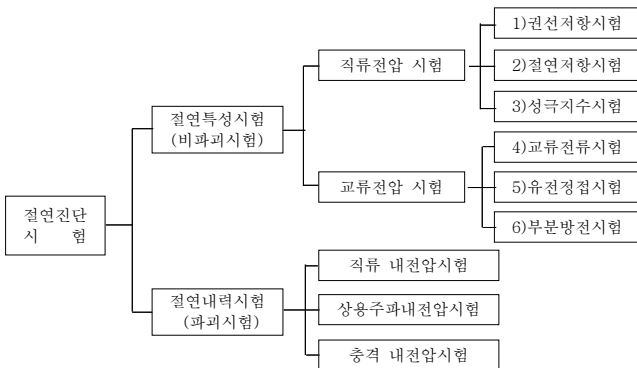
고전압이 인가되는 고정자 권선의 절연열화는 부분방전을 성장시키고 이는 최종적으로 절연파괴에 이르게 된다. 따라서 고전압 회전기기의 유지관리에 있어 부분방전에 의한 절연진단 기술이 필수적이며, 외국에서는 70년대부터 절연진단의 기술 특히 부분방전 측정기술이 현장에 적용되었고 국내에서는 90년대부터 전기연구원을 통해 적용되기 시작하여 지금은 각 기관별로 광범위하게 적용되고 있다.

절연진단 시험의 중요한 요소인 부분방전 시험은 [pC]단위의 아주 작은 물리량을 측정하는 것으로 주변 환경 및 시험자의 조그만 부주의에 의해서도 큰 영향을 받으므로 시험 시 세심한 주의를 요한다.

2. 본 론

2.1 고전압 회전기기의 절연진단 시험방법

그림 1과 같이 Off-Line상태의 절연진단 방법은 크게 파괴시험과 비파괴시험으로 구분되며, 파괴시험은 주로 제품을 생산하는 제조사에서 생산된 제품의 전기적인 특성을 파악하기 위하여 제품의 손상을 감수하고 행하는 시험이며, 비파괴시험은 일반적으로 사용자가 정상적인 유지관리를 위하여 사용 중인 설비의 상태를 파악하기 위한 시험 방법이다.



〈그림 1〉 절연진단 시험의 종류

2.1.1 권선저항 시험

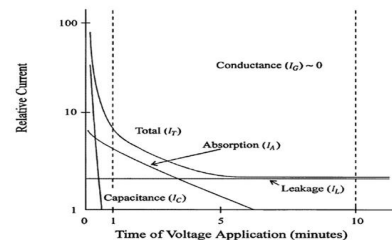
권선저항 시험은 권선의 중간단락 및 단선상태를 파악하거나 병렬로 되어 있는 경우 회로의 개방이나 연결점의 접촉저항 여부를 검출하기 위한 시험이다.

2.1.2 절연저항 시험

실제로 절연체의 전압을 인가하였을 때 전류가 전혀 흐르지 않는 이상적인 절연체는 존재하지 않고, 내부 또는 표면을 따라 어느 정도의 전류가 흐른다. 이 인가전압에 대한 전류의 비를 저항단위 MΩ(Mega Ohm)로 표시하며, 이 값을 절연체가 갖는 절연저항 값이라 한다. 절연저항 시험은 운전개시 전이나 운전 중에 필요한 절연저항을 가지고 있는가의 여부, 절연진단 시험 시 사용되는 고전압을 인가해도 충분한가를 점검하기 위하여 실시한다.

2.1.3 성극지수 시험

그림 2와 같이 절연물에 직류전압을 인가했을 때의 전류-시간 특성으로부터 절연물의 흡습, 도전성 불순물의 혼입 혹은 생성, 오손, 절연물의 결합 등 절연체의 상태를 판정하는 시험이다. 인가전압에 따른 전류의 크기는 시료의 형태, 크기에 따라서 변하기 때문에 전류의 크기만으로 절연상태를 판단하지는 못한다. 측정되는 전류(I)는 ①순시충전전류(Ic), ②흡수전류(Ia), ③누설전류(IL)의 3개 성분으로 나눌 수 있다.



〈그림 2〉 에폭시-마이크라 절연의 전류-시간 특성곡선

2.1.4 교류전류 시험

교류전압을 인가하였을 때 흐르는 전류와 전압의 관계, 즉 I-V 특성으로부터 절연상태를 조사하기 위한 시험이다. 교류전압을 절연물에 인가하면 전압상승에 비례하여 충전전류가 증가하며 이때 절연층 내에 Void 등의 결합이 존재하여 부분방전 현상이 발생하게 되면 미소공극을 단락시켜 충전전류가 급격히 증가한다. 이러한 전류급증율로부터 절연물의 흡습 및 열화의 정도, 또는 부분방전 발생 등을 진단할 수 있다.

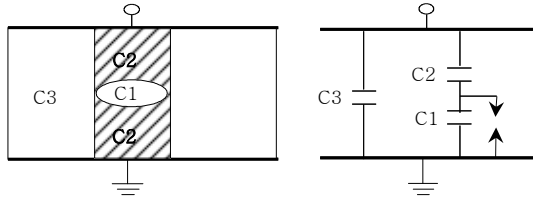
2.1.5 유전정접 시험

유전체 절연물에 교류전계를 가할 때는 일반적으로 누설전류, 유전분극, 부분방전 등에 의한 유전손이라는 에너지 손실이 발생하고, 이를 나타내는 척도로서 tanδ를 사용한다. 이것을 유전정접 또는 유전체 역률(Dissipation Factor)이라 하며, 이로부터 흡습/건조, 오손, 미소공극 유무 등의 절연상태 및 열화정도를 추정하는 시험을 유전정접 시험이라 한다.

2.1.6 부분방전 시험

부분방전이란 제작결함 및 열화(aging) 등으로 절연체 내부에 공극(void)이 발생하면 공극의 절연강도보다 인가된 전계강도가 높을 때 발생하는 지속시간이 매우 짧은 국부적인 방전을 말한다. 그림 3은 공극이 존재하는 절연체의 형태이며 이를 전기적 회로로 표현한 것이다. 공극의 유전율(ε0)을 1이라 할 때 절연체

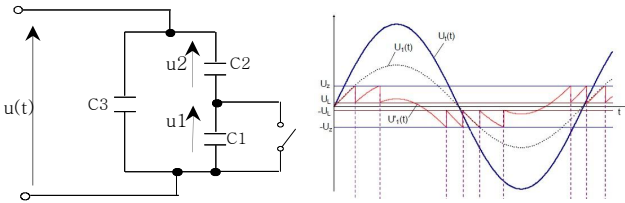
의 유전율(ϵ_r)은 4~5로 높아 공극에 국부적으로 전계가 집중한다.



C1: 공극의 정전용량, C2: 공극과 직렬인 절연체의 정전용량
C3: 공극과 병렬인 절연체의 정전용량

<그림 3> 공극이 있는 절연체의 전기회로

그림 4와 같이 시험전압(U_t)을 절연체에 인가하면 공극(C_f)의 양단에 U_1 의 전압이 형성되고 이 전압이 공극의 절연내력을 초과하는 전압(U_2)에 도달하면 방전이 발생하고 공극 사이에 잔류 전압(U_L)이 남게된다.



<그림 4> 공극에서의 부분방전 회로 및 전압파형

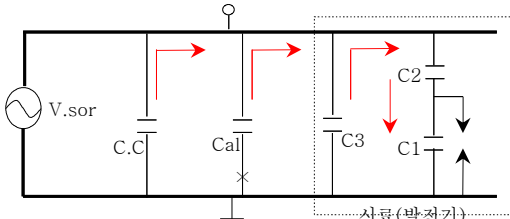
부분방전은 전극과 전극사이를 교락하지 않는 부분적인 방전을 말하지만 이러한 부분방전의 지속적인 진행은 공극을 침식하여 확대시키고 인접한 공극과 교락되고 최종적으로 전극사이를 교락시켜 절연과피 사고를 발전한다.

2.2 부분방전 측정 시 인출 CV케이블에 의한 감도저하 현상

부분방전 시험 시 대상설비의 단자부에서 회로를 분리하여 완전히 대상설비에 대해서만 독립적으로 시험회로를 구성하여야 하나, 현장여건 등 경우에 따라 대상설비 단자에서 케이블을 분리하지 못하고 인출케이블 반대편 차단기 쪽 부스에서 회로를 분리하여 시험 할 경우 인출 케이블에 의한 부분방전량 감도저하 현상이 있어 이를 주의 하여야 한다.

2.2.1 부분방전량 측정 원리

공극에서 부분방전이 발생하면 측정된 전하는 소멸되고 $C_3 \rightarrow C_2 \rightarrow C_1$ 으로 전하의 이동이 발생한다. C_2 에서 C_1 으로 전하가 이동하고, C_3 에서 소멸된 전하만큼 C_2 로 걸보기 전하량이 이동한다. 부분방전량의 측정엔 센서인 C.C(Coupling Capacitor)에서 C_3 쪽으로 걸보기 전하량에 비례하는 전하량의 이동을 측정하는 것이다.



Cal: 인출 케이블의 정전용량, C.C: 측정센서의 정전용량

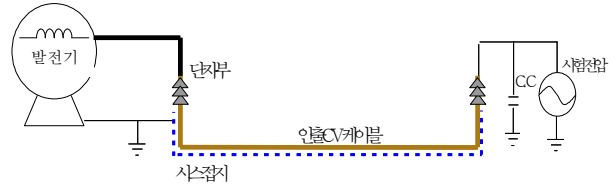
<그림 5> 공극에서의 부분방전 회로 및 전압파형

2.2.2 인출 CV케이블에 의한 센서(C.C)의 감도저하 현상

그림 5와 같이 시료의 단자부에서 케이블을 분리하지 못하고 케이블 인출점 이후에서 측정하는 경우 케이블의 정전용량(Cal)에 의해 C_3 쪽으로 이동하는 걸보기 전하량은 C.C와 Cal에서 각각의 정전용량의 크기에 비례하여 나뉘어짐으로 결과적으로 센서인 C.C의 감도가 저하하게 된다.

2.2.3 감도저하 현상 현장 실측 사례

00수력발전소 2호 발전기의 과거 부분방전량 측정결과는 표 1과 같다. 2001년 이후 발전기의 권선교체 및 절연보강은 없었으나 2006년 측정 시 부분방전량이 급감 하였고, 급회 측정 시 역시 500[Pc]으로 측정되어 확인 결과 인출 CV케이블의 쉴드선이 그림 6과 같이 접지되어 있었다.



<그림 6> 공극에서의 부분방전 회로 및 전압파형

<표 1> 2호 발전기 부분방전 측정결과

구 분	1996년	2001년	2006년	2013년
부분방전 측정값[Pc]	1,650	3,000	423	500

2.2.4 인출 CV케이블 쉴드 접지 분리 후 측정 결과

그림 7은 발전기 단자부가 인출 CV케이블로 견고하게 물딩 되어 있는 모습이며 인출 케이블 양단의 쉴드 접지선을 분리한 장면이다.



<그림 7> 인출 CV케이블 단자부 및 쉴드접지 분리 광경

재측정 결과 500[pC]이었던 부분방전량은 1,600[pC]으로 쉴드 접지선 분리 전 보다 3배 가량 높게 측정되었다.

2.2.5 쉴드선 접지에 따른 방전량 변화 고찰

인출 케이블은 6.6kV급 800sq 1C 3가닥 20[m]로 케이블 제조사의 특성표에 의하면 유사한 케이블의 정전용량은 0.8[nF/m]이며, 케이블 tan δ 측정 장비에 의한 케이블의 정전용량 측정 결과 0.45[nF/m]이었다. 따라서 20[m] 3가닥의 정전용량은 20[m]*3*0.45[nF/m] = 27[nF] 이다. 부분방전 시험에 사용한 C.C(Coupling Capacitor)의 정전용량은 9[nF]이므로 케이블의 정전용량과 센서인 C.C(Coupling Capacitor)의 정전용량은 3:1의 차이를 보인다. 따라서 발전기 부분방전량의 참값이 1,600[pC]이라고 가정하면 케이블의 정전용량과 C.C(Coupling Capacitor)의 정전용량에 비인 3:1비율로 발전기 부분방전에 의한 걸보기 전하량(1,600pC) 상호 나누어 이동하므로 센서인 C.C(Coupling Capacitor)에서 측정되는 부분방전량은 1,600/4 = 400[pC] 이라는 계산 결과를 얻을 수 있다. 이는 실제 측정된 500[pC]과 유사한 값으로 여러 가지 오차를 고려하면 케이블의 정전용량으로 부분방전량 측정에 감도가 저하되었음을 확인할 수 있다.

3. 결 론

부분방전량 측정 시험에 있어 측정하고자 하는 대상설비와 결합되는 모든 회로를 분리하고 측정하는 것이 매우 중요 하며, 원자력 발전소 및 기타 현장 여건에 의해 회로 분리가 원활하지 못한 경우 인출 케이블에 의한 부분방전량의 측정에 오류가 없도록 쉴드 접지선을 분리할 것을 제안한다. 아울러 고전압 전력설비의 생명이라 할 수 있는 절연의 상태를 진단·평가하는 기술은 설비의 안전한 운영과 경제적 손실을 막을 수 있는 중요한 유지보수 활동이다. 절연진단시험은 정기적으로 실시하여 그 추이를 관리함으로써 절연열화의 진전 상황을 정확히 파악하고 이상 여부를 조기에 발견하여 사고예방과 보수 비용경감, 설비의 신뢰도 향상에 기여하여야 할 수 있다. 따라서 관련기술의 도모와 관련산업의 육성이 절실하며 또한 정밀 절연진단시험을 위하여 고도의 측정기술과 측정결과의 판정 및 분석을 위하여 전문인력 육성과 ICT기술을 접목한 관리시스템개발, 시험장비의 국산화도 절실하다. 이를 위하여 법제도의 제정을 통한 국가적 환경조성이 필요한 시점이다.

[참 고 문 헌]

[1] IEC 270, "Partial discharge measurements", 1981
[2] 이종석, "고전압 전력기기 권선의 절연열화 상태진단방법 고찰", 충남대학교, 2