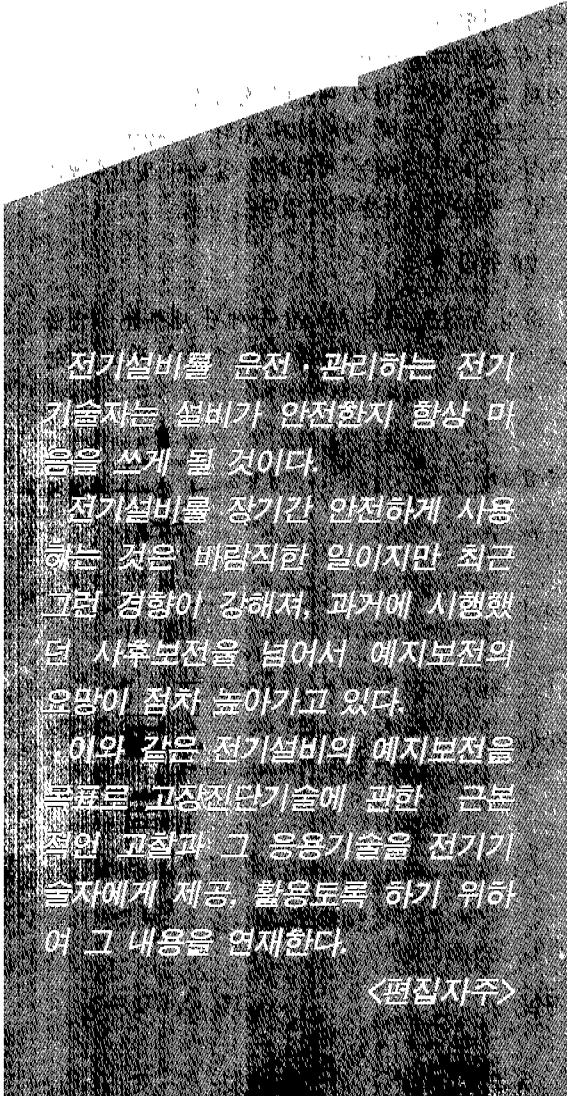


전기설비의 고장진단 12



전기설비를 운전·관리하는 전기 기술자는 설비가 안전한지 항상 마음을 쓰게 될 것이다.

전기설비를 장기간 안전하게 사용하는 것은 바람직한 일이지만 최근 그런 경향이 강해져, 과거에 시행했던 사후보전을 넘어서 예지보전의 요망이 점차 높아지고 있다.

이와 같은 전기설비의 예지보전을 목표로 고정진단기술에 관한 근본적인 고찰과 그 응용기술을 전기기술자에게 제공, 활용토록 하기 위하여 그 내용을 연재한다.

<편집자주>

1. 머리말

최근에는 애자와 부싱의 열화가 제조기술과 품질관리의 철저로 상당히 적어졌다.

그러나 이것은 일반적으로 풍설, 심한 기온변동, 해염(海鹽) 등과 벼락으로 인한 이상전압 등과 같은 냉혹한 조건하에서 사용되며 때로는 취급 부주의, 조수해(鳥獸害) 등의 예기치 않은 사태에 조우하게 되는 일도 있기 때문에 장기간에 걸쳐 열화를 초래하는 일이 있다.

애자, 부싱은 과대한 전기적, 기계적 충격 또는 대전력 아크에 의한 편열(偏熱)에 의하여 한순간에 파괴되는 일도 있고 서서히 균열, 트래킹 등이 진전하여 파괴에 이르는 일도 많다. 이와 같은 경우에는 보수, 점검시에 조기에 그 징후를 발견하여 적절한 처치를 강구하면 사고를 미연에 방지할 수가 있다. 이를 위해서는 애자, 부싱의 구조를 잘 이해하고 열화에 의한 이상현상의 패턴과 그 원인, 이상현상의 파급효과와 그에 대한 대책 및 열화의 판정방법을 알아야 한다.

여기서는 특히 발전전소 등의 전력기기에 사용되는 애자 및 부싱에 대하여 그 구조와 보수, 점검의 포인트에 대하여 해설하기로 한다.

2. 애자, 부싱의 구조와 종류

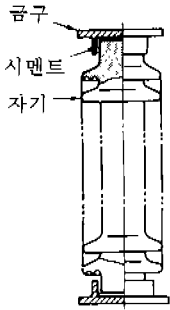
(1) 애 자

전력기기에 사용되는 애자는 주로 자기제의 애자이며 지지애자와 기기용 애판이 있다.

지지애자에는 편형 지지애자, 중실(Solid) SP애자(스테이션 포스트 애자) 등이 있는데 현재 사용되고 있는 것의 대부분이 중실 SP애자이다.

중실 SP애자는 단로기나 모선 등의 지지물로서 단독 또는 결합 상태로 사용된다.

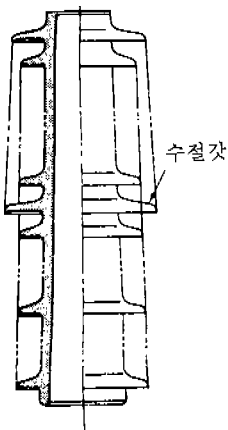
중실 SP애자의 구조를 그림 1에 들었다. 이 애



<그림 1> 중실 SP애자

자는 기기의 살두께가 두껍고 관통거리가 길기 때문에 자기의 흡습이나 결함 진전에 의한 전기적 관통파괴는 쉽게 생기지 않는다. 또한 절연물인 기기 외측에 기구가 부착되어 있으며 기구나 시멘트의 팽창, 수축에 의한 열화는 거의 없다. 따라서 중실 SP애자는 염진해에 대한 보수가 주체로 되어 있다.

애관은 속이 빈 자기제 애자로, 가스차단기, 공기차단기, 피뢰기, 계기용 변성기 및 부상 외곽 구성요소로서 사용되고 있다. 애관 속에서 그림 2와 같이 중간 중간에 갓을 붙여 활선 세척중에 위에서 흐른 물이 갓 사이로 연결되지 않도록 되어 있다.



<그림 2> 방수용 갓이 달린 부상

(2) 부상

부상은 고전압 전로가 발전전소의 벽이나 바닥 또는 유입차단기 등의 탱크를 관통할 때 전로와 접지물 사이를 절연하기 위해 사용되는 것이다.

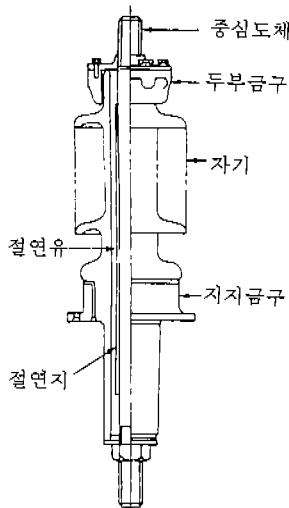
부상은 용도, 사용장소, 전압, 전류에 따라 여러 가지가 제작되고 있는데 그 절연구성에 따라 단일형 부상, 유입 부상, 유침지 콘덴서 부상, 레진지 콘덴서 부상 등으로 대별된다.

(a) 단일형 부상

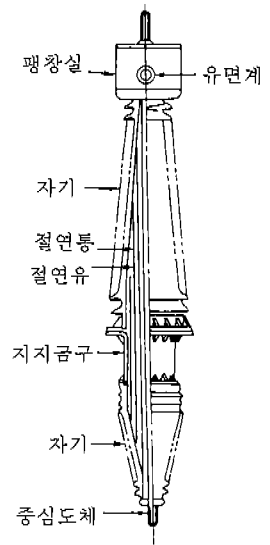
단일형 부상은 주로 단일종류의 고체절연물을 가지고 있으며 이것이 절연의 주체가 되는 부상이다. 단일형 부상의 구조를 그림 3에 들었다. 간단한 구조로 가격이 싸고 취급이 용이하지만 전위조정이 되어 있지 않기 때문에 전위분포가 불균등하고 코로나 방전이 발생하기 쉽다. 따라서 단일형 부상은 고전압용에는 적합하지 않으며 일반적으로 33kV 이하에서 사용되고 있다.

(b) 유입 부상

유입 부상은 그림 4와 같이 애관 내부를 절연유로 채우고 이것이 내부절연의 주체가 되고 있는



<그림 3> 단일형 부상



<그림 4> 유입 부상

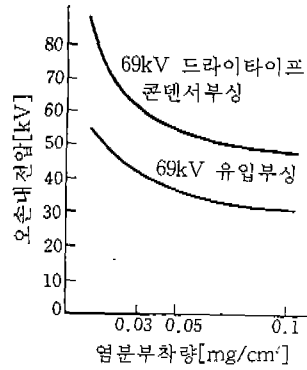
부식으로, 절연강화를 위해 애판과 중심도체 사이에 베이클라이트제 절연통이 삽입되어 있다. 또한 유입 부식에는 절연통상에 전극을 붙여 전위조정을 한 것도 있는데 전극수는 1~3층 정도이다.

유입 부식은 초기의 개방형에서 완전밀폐형으로 이행했는데, 개방형은 절연유가 직접 외기에 접촉되므로 기름의 산화, 수분, 진애의 침입을 피할 수 없고 점차 열화되어 절연내력이 저하된다. 따라서 이같은 종류의 부식은 정기적으로 절연유의 특성을 체크하여 기름의 열화가 발견된 경우에는 기름을 교환하거나 정유조치를 취한다.

유입 부식은 긴 역사와 많은 실적을 가지고 있으며 널리 사용되어 왔으나 콘덴서 부식에 비하여 동경(胴徑)이 짧고 이로 인하여 오손성능이 떨어지며 또 중량도 무겁다는 등의 이유로 최근에는 거의 제조되지 않고 있다.

(c) 콘덴서 부식

콘덴서 부식은 내부 절연물내에 1~2mm 간격으로 여러 층의 전극을 동심원통(同心圓筒)형상으로 배치하여 다수의 원통형 콘덴서를 형성, 절연물에 가해지는 전계가 균일해지도록 만든 것이다. 따라서 절연물의 합리적 사용이 가능하며 애판이 좁고 유입 부식에 비하여 우수한 내오손 성능을

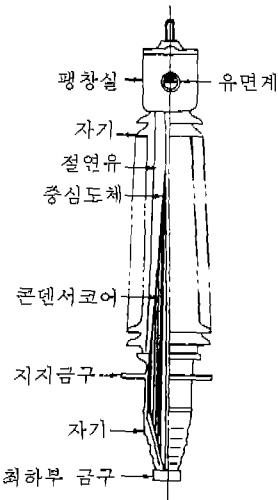


<그림 5> 콘덴서 부식과 유입 부식의 오손특성 비교

가지고 있다. 오손 특성의 향상을 그림 5에 들었다.

콘덴서 부식은 콘덴서 절연층의 재질에 따라 유침지 콘덴서 부식과 레진지 콘덴서 부식으로 대별된다.

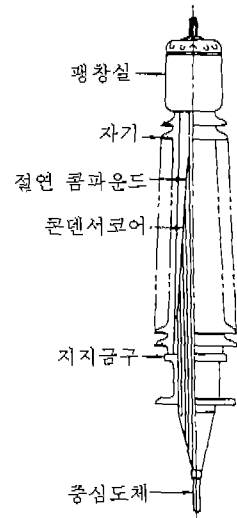
(i) 유침지 콘덴서 부식 : 변압기용 유침지 콘덴서 부식의 구조를 그림 6에 들었다. 이 부식의 주절연은 중심도체상에 절연지와 전극을 감은 후 진공가열 건조시켜 탈기한 절연유를 함침시킨 유침지 콘덴서 코어로



<그림 6> 유침지 콘덴서 부식



<그림 7> 500kV 변압기용 유침지 콘덴서 부식



<그림 8> 레진지 콘덴서 부식



능하다. 또한 이 타입의 부상은 모두가 완전밀봉구조로 되어 있으며 기름의 산화열화나 수분의 침입으로 인한 절연내력 저하의 우려가 없다.

이와 같이 유침지 부상은 다른 부상에 비하여 절연 신뢰성이 극히 높기 때문에 광범위하게 사용되고 있다. 그림 7에 500kV 변압기용 유침지 콘덴서 부상의 외관을 들었다.

또한 절연유의 열팽창·수축에 의한 압력변동은 부상의 두부에 봉입한 N₂ 가스에서 흡수된다. 그 유면위치는 팽창실에 부착된 유면계로 감시한다.

(ii) 레진지 콘덴서 부상 : 레진지 콘덴서 부상은 내부절연의 주체가 되는 절연물이 레진지로 구성된 콘덴서 부상이며, 종이에 수지를 도포한 것을 감아 고착시켜 제작한다. 이른바 도공지(塗工紙) 타입과 종이를 감은 후에 수지를 함침시켜 제작하는 레진 함침 타입의 2종류가 있다.

전자는 그 제조방법상 절연지내의 보이드 존재를 피할 수가 없어 상규 대지전압을 초과하는 전압 레벨에서는 방전이 발생하기 때문에 최근에는 거의 사용되지 않는 경향에 있다.

이에 비하여 후자는 절연지내에 완전히 수지가 함침되어 있기 때문에 보이드는 존재하지 않으며 유침지 부상과 마찬가지로 내전압 레벨까지 무코로나로 할 수가 있으며 광범위한 전압제급의 것이 제작되고 있다. 또한 콘덴서 코어 자체가 수지로 고착되어 있기 때문에 기밀성이 우수하며 가스 절연기기용 부상으로서 적합하다.

레진지 부상은 그림 8과 같이 변압기 탱크에 삽입하는 유중측(油中側)에는 애관이 필요없고 유중부의 길이를 짧게 할 수 있는 이점이 있다. 기중측에는 내후성(耐侯性)을 주기 위하여 애관을 씌웠는데 만일 애관이 파손되어도 당분간은 지장없이 운전할 수 있는 경우도 있다. 또한 애관과 콘

덴서 코어 사이에는 절연 콤파운드 등이 충전되어 있다.

레진지 부상은 특히 유중용으로 애관이 필요없고 설치 스페이스를 줄일 수 있다는 이점을 살려 엘레판트형 변압기용 부상에 많이 사용되고 있다.

(3) 에폭시 수지 몰드 애자와 부상

중심도체상이나 매립금속상에 에폭시 수지를 몰드한 애자나 부상이다. 최근 재료기술, 설계기술, 제조기술의 진보로 가스 중요기기에 채용되게 되었다. 이같은 종류의 몰드폼은 각 메이커에 따라 수지의 배합, 제조방법 등이 다른데 전기적 특성이 우수한 비스페놀 A형 에폭시 수지와 경화제 및 충전재를 진공교반, 혼합한 후에 진공하에서 철형 내에 주입하여 가열로에서 가열, 경화하여 제조하는 방법이 일반적이다.

몰드 타입의 애자. 부상은

- (i) 소형 경량
- (ii) 성형성이 좋고 형상을 자유롭게 선택할 수 있다.
- (iii) 아크 전류가 흘러도 표면이 탄화될 뿐이고 자기와 같이 갖이 결손되거나 동체가 파괴되지 않는다.
- (iv) 취급이 용이하다.
- (v) 기름을 사용하지 않으므로 방재효과가 있다.

등의 특징이 있지만 반면에 내후성, 내트래킹성, 내열성 등에 약하므로 현재는 옥내용으로 사용되고 있다.

3. 애자, 부상의 이상현상과 그 원인

일반적으로 절연물은 전기적, 열적, 기계적, 환경적 등의 여러 가지 요인이 복잡하게 얽혀 열화되는 일이 많으며 그 열화현상도 여러 가지로 나타나는데 여기서는 애자, 부상에서 발생하는 대표적인 이상현상 및 그 원인에 대하여 해설하기로

한다. 이같은 이상현상은 모두가 보수, 점검시에 발견하여 사고를 미연에 방지하기 위한 중요한 체크 항목이다.

(1) 균 열

애자, 애관 및 수지제품에 균열이 확인되었을 경우에는 전기적으로나 기계적으로나 위험하므로 조속히 교환해야 된다. 부분적인 갖의 결손이나 주름의 결손이 반드시 사고와 연결된다고 할 수는 없지만 장차 균열로 발전하는 일도 있으므로 교환하도록 한다.

자기제 애자, 부싱 및 합성수지성 애자, 부싱 균열의 발생 원인에는 다음과 같은 것이 있다.

(a) 자기제 애자, 부싱

- (i) 제조공정상의 미소한 자기표면 또는 내부의 결함이 반복되는 하중 등으로 인하여 기계적 충격을 받아 균열, 갖의 결손으로 진전한 경우
- (ii) 이상전압 또는 오손으로 인한 플래시오버 피해로 편열과괴가 된 경우
- (iii) 오손대책으로 애자에 실리콘 그리스를 도포하는 일이 있다. 실리콘 그리스를 장기간 다시 도포하지 않고 방치하면 그리스가 열화하여 누설전류나 극부방전이 발생하여 갖이 결손되거나 클랙크가 발생하는 일이 있다.
- (iv) 너무 지나치게 쪼여 자기부에 과도한 충격이 작용한 경우
- (v) 취급상의 부주의로 인한 타박상 또는 투석 등의 장난으로 애자가 손상된 경우
- (vi) 기기용 애관은 내부기기의 불량으로 2차적인 파괴를 초래하는 일이 있다.

(b) 합성수지제 애자, 부싱

- (i) 제조할 때의 경화 수축으로 인한 잔류응력에 의하여 균열이 발생하는 경우
- (ii) 기기의 운전, 정지의 반복에 의한 히트사이클에서 열팽창 계수의 차이에 의거한 반

복 열응력을 받아 수지의 매립금속에서의 박리나 균열이 발생하는 경우

- (iii) 장시간 경과에 의한 절연재료의 강도 저하 또는 반복응력에 의한 피로에 의하여 균열이 생긴 경우
- (iv) 지나친 부착부의 조로기로 인한 기계적 충격

(2) 트래킹

유기절연재료가 오손, 습윤되면 표면에 흐르는 누설전류 때문에 극부적으로 절연저항이 높은 건조대가 생겨 이 부분에 가해지는 전압이 높아져서 미소방전이 발생한다. 결과적으로 절연물 표면에는 탄화된 도전로가 형성된다. 이것이 트래킹이다. 트래킹이 형성된 애자를 그대로 방치하면 점차로 진전하여 드디어는 플래시오버가 되어 지락사고를 야기한다.

트래킹이 발생한 애자는 교환하는 동시에 오손 상태, 습기 등의 관리, 내 트래킹성이 우수한 재료의 사용 등의 대책을 강구하여 재발의 방지를 도모해야 된다.

(3) 오일 누설

절연유를 봉입한 부싱 등은 애관의 균열, 과도한 굽힘하중에 의한 애관의 위치불량, 또는 실 재료의 열화 등으로 오일 누설이 발생하는 일이 있다. 오일 누설이 심하면 부싱의 절연이 파괴될 뿐만 아니라 기기 본체인 변압기, 리액터, 유입차단기 등에 막대한 손실을 주게 될 위험성이 있다. 따라서 만일 오일 누설을 발견한 경우에는 즉시 그 정도를 조사하여 경우에 따라서는 운전정지 등의 처치나 교환이 필요하다.

오일 누설은 유면위치의 관찰 및 부싱 부착부 주변의 점검으로 감시할 수 있다. 유면위치의 감시방법(구조)은 각 메이커에 따라 다소의 차이가 있지만 유량계의 가시범위보다 유면이 저하되었을 경우에는 주의를 요한다.

또한 부싱의 실 재료에는 하이커코르크나 합성



고무 등의 유기재료가 사용되고 있으며 시간적 열화를 피할 수는 없다. 따라서 정기적으로 점검하여 적당한 시기에 실 재료를 교환하도록 한다.

(4) 코로나 음

단자기구 돌기부의 코로나 방전, 오손된 절연물 표면에 발생하는 연면방전이 가청음으로 들리는데 애자, 부싱의 균열이나 내부결합 등이 원인이 되는 일도 있다. 조속히 그 원인을 조사하여 대책을 강구해야 된다. 또한 이같은 방전은 잡음전파를 발하여 라디오, 텔레비전에 장애를 주는 일이다.

(5) 단자의 과열

부싱은 중심부를 도체가 관통하여 전류가 흐르는 구조로 되어 있다. 이 도체는 부싱 두부의 단자기구를 통하여 모선 등과 접속되는데 이 단자의 접속이 불충분하면 과열되어 단자의 변색이나 절연물의 수명단축 등의 고장 원인이 된다.

따라서 도체접속부는 시온 도료 또는 서머라벨 등에 의해 온도를 감시하는 동시에 정기적으로 볼트류의 잠상태를 체크하도록 한다.

4. 애자, 부싱의 보수, 점검방법

애자, 부싱의 보수, 점검시에는 다음과 같은 점에 유의해야 된다.

(1) 육안 점검

앞에서 설명한 이상현상은 모두가 육안 점검시의 포인트가 되는 사항인데 그 밖의 감시항목을 다음에 열거한다.

- (i) 애자의 균열, 갓 결손, 주름 결손
- (ii) 기구의 부식, 마모, 변형
- (iii) 볼트, 너트의 이완
- (iv) 절연물 및 기구의 아크 흔적

- (v) 트래킹 및 변색의 흔적
- (vi) 통전단자 접속부의 변색 및 서머라벨, 시온 도료 또는 적외선 온도계 등에 의한 온도감시
- (vii) 부싱의 유면위치 및 오일 누설

(2) 오손관리, 애자, 부싱의 활선세척

애자, 부싱의 표면이 오손되면 현저하게 절연능력이 저하되어 플래시오버되거나 트래킹이 발생하므로 다음과 같은 오손관리를 철저히 해야 된다.

(a) 오손도의 측정

애자 부싱의 염분 부착량을 파일럿 애자 등을 사용하여 정기적으로 측정하여 허용량을 초과하지 않도록 주의한다.

(b) 애자, 부싱의 세척

애자, 부싱의 오손대책에는 절연강화나 은폐화 등을 들 수가 있는데 활선상태에서 애자를 세척하는 활선세척도 널리 실시되고 있다.

활선세척장치에는 고정 스프레이식, 수막식, 제트식 등이 있다. 각각의 개요를 표 1에 들었다. 활선세척시에는 세척에 대한 오손관리한계를 정하고 항상 애자, 애관의 오손상태를 파악해 두어야 한다.

또한 애자 세척장치는 일상 세척중의 압력계 지시나 누수에 주의하고 긴급세척에 대비해야 된다.

(c) 실리콘 그리스의 도포

애자나 애관에 실리콘 그리스를 도포하여 오손대책으로 삼는 경우도 있다. 이 경우에는 그리스의 수명을 고려하여 정기적으로 다시 도포한다.

(3) 절연저항의 측정

절연저항계(1,000V 메가 등)로 절연저항을 측정하는 방법이다. 정상적인 부싱은 일반적으로 2,000MΩ 이상인데 애관의 표면이 오손 습윤되어 있으면 극히 낮은 값을 나타내는 일이 있으므로

<표 1> 세척방법과 그 개요

세척방법	개요
고정 스프레이	세척대상인 애자와 부상에 대하여 그 형상, 크기에 따라 사용 노즐의 형상, 개수 및 배치를 정하고 노즐에서 분출하는 물로 애자 전체를 균일하게 세척한다. 또한 설계시에 변전소의 기기 설비수가 매우 많고 모든 기기를 동시에 세척할 수 없으므로 몇개로 구분하여 순차적으로 풍하(風下)에서 풍상(風上)으로, 낮은 위치의 설비에서 높은 위치의 설비로 세척하도록 배치를 배려해야 된다.
수막식	입해지구 등에서 태풍시 고정 스프레이 장치로는 불충분한 경우에 인공적으로 변전소의 풍상측으로 비를 내리게 하여 수막을 만들어 변전소 내의 기기를 염해에서 차폐하는 동시에 세척하는 것이다.
제트	이 방식에는 모니터 노즐의 위치를 고정시키는 방식과 인공적으로 이동시키면서 세척하는 방식이 있다. 제트 세척방식은 세척대상 애자에 대하여 작업원의 조작으로 하나씩 세척하는 것이므로 제트 분사에 의한 반동이 인체에 가해지지 않도록 하며 또한 노즐의 조작이 자유롭도록 노즐 부착대가 있어야 한다. 제트 노즐로는 소용용 모니터 노즐 또는 이와 유사한 구조의 것이 사용되고 있다. 한편 이 방식은 일반적으로 20~140kV급의 모선애자, 지지애자의 활선세척에 많이 사용되며 설비 비용이 적게 드는 이점은 있으나 애자를 하나씩 씻기 때문에 시간이 많이 소요되고 수량도 다량으로 필요하고 세척에는 일일이 사람의 손이 필요한 등의 결점이 있다. 따라서 매일 또는 격일수세 등 세척주기가 짧은 곳에는 부적당하다. 70kV 이하의 비교적 오손도가 낮은 변전소 세척용으로는 이동식 제트 세척방식이 사용된다.

측정시에는 절연물 표면을 충분히 세척, 건조시킨 후에 측정해야 된다. 단, 이 방법은 선로를 정전시켜야 된다.

(4) 유전 정접(tanδ)의 측정

부상의 tanδ가 현저하게 증가되거나 절연저항이 저하된 경우에는 실이 파괴되어 수분이 침입되었을 가능성이 있으므로 정밀검사를 해야 된다. 또한 부분방전에 의하여 tanδ가 상승하는 수도 있다.

측정시에 애관 표면이 오손되어 있으면 정확한 지시값을 얻을 수 없는 경우가 있으므로 주의한다. 또한 tanδ는 일반적으로 온도특성을 가지고 있으므로 다소의 변화는 있다.

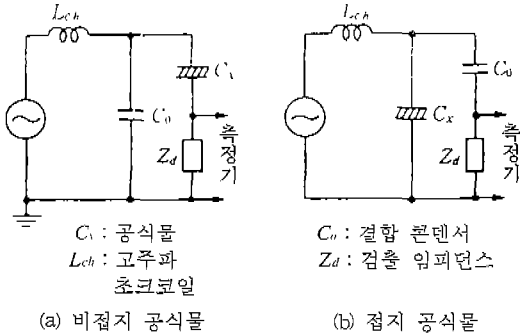
(5) 절연유의 특성

개방형 부상에는 절연유의 열화는 필연적이므로 정기적으로 파괴전압, 절연저항, 함유 수분량 등을 검사할 필요가 있다. 최근의 변압기는 유중 가스 분석법에 의한 내부절연의 열화조사가 실시되고

있다. 이 방법은 변압기내에서 극부적 과열, 코로나 방전 등이 발생하면 절연유나 절연지가 열분해하여 이 때에 발생하는 분해 가스를 가스크로매트 그래피로 정량분석하여 그 가스 성분과 양에 따라 고장장소, 열화장소를 판정하는 것으로, 이미 유침지 부상의 열화판정에 일부 채용되고 있다. 유중 가스 분석에 의한 이상판정의 예로서 가연성 가스(H₂, CH₄, C₂H₄, C₂H₆)의 합계가 0.06ml/1.100ml 오일 이하에서 C₂H₂가 검출되지 않는 경우를 정상으로 하고 있다.

(6) 부분방전시험

이 방법은 과전시에 극부적으로 야기되는 방전을 정확히 측정하려는 시험으로, 부상이나 기타 기기의 비파괴시험중 현재 가장 신뢰를 받고 있는 절연진단시험법이다. 이 시험은 검출회로의 검출 임피던스 양단에 나타나는 코로나 펄스 전압에서 방전개시, 소멸전압, 코로나 발생빈도, 방전전하량 등을 측정하여 이에 의하여 절연상태를 판정한다. 대표적 시험회로를 그림 9에 들었다.



<그림 9> 부분방전 측정회로

이 시험의 결점은 현지 부착상태에서의 측정이 잡음이나 다른 기기의 영향을 받기 때문에 곤란한 때가 있는데 전자 차폐된 시험실내에서는 1~3pC의 코로나도 검출이 가능하다.

(7) 초음파 탐상시험

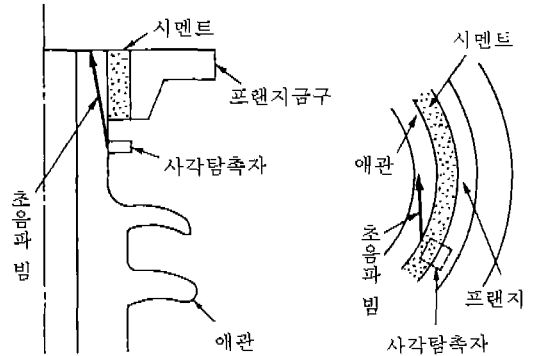
초음파 탐상이란 1~5MHz의 초음파 펄스를 탐촉자에서 시험체에 투입하여 내부에 결함이 있으면 거기에서 초음파의 일부분이 반사되어 탐촉자에 수신되는 현상을 이용하여 결함의 존재위치 및 결함의 크기를 아는 방법이다. 이 원리도를 그림 10에 들었다.

이 방법은 주로 애관의 플랜지 기구내 균열 검출 등에 사용되고 있는데 다음과 같은 결점이 있다.

- (i) 측정시에는 애관 표면에 상향 탐촉자를 밀착시킬 필요가 있는데 애자 표면의 굽힘율이 일정하지 않으므로 이것이 곤란하다.
- (ii) 현지의 측정에 시간이 걸린다.
- (iii) 결함의 검출, 판정에는 상당한 숙련이 필요하다.

(8) 침투 탐상시험(컬러체크법)

애자, 애관의 균열은 표면에서 시발되고 있는 경우가 많은데 작은 균열은 육안 점검으로 발견하기는 곤란하다. 균열의 의심이 가는 경우에는 침투 탐상시험이 유효하다.



<그림 10> 애관의 초음파 사각탐상법의 원리도

침투 탐상시험은 미소한 클랙크를 황록색의 형광침투액 또는 적색의 염색침투액에 의하여 확대한 상으로 하여 나타내는 것으로 균열에 침투한 색이 확실하게 나타나므로 판정할 수 있다.

5. 맺음말

기기용 애자, 부싱에 대하여 구조, 열화에 의한 이상현상과 열화의 발생원인 및 열화판정 방법 등에 대하여 해설했다.

지금까지의 설명이 기기의 보수, 점검에 참고가 되고 애자, 부싱으로 인한 사고를 미연에 방지할 수가 있으며 전력의 신뢰성 향상에 기여하는 바가 있다면 다행이겠다.

