

# 인텔리전트의 절연진단 기법(1)

역/대한전기기사협회

## I. 몰드 변압기의 절연진단

### 머리말

변압기의 절연에는 종래로부터 절연유를 주로 한 액체절연의 것이 많이 사용되고 있지만 그 밖에 건식 변압기로는 와니스 함침을 한 것, SF<sub>6</sub> 가스를 절연물로 사용하고 있는 것이 있다. 그런데, 최근의 수요에 따라 에너지 절감화, 스페이스 절감화, 내화성 등을 고려한 제품이고 또한 절연 재료의 진보에 따라 에폭시 수지를 주체로 한 몰드타입의 변압기가 많이 제조되고 있다.

몰드 변압기에 있어서는 절연 구성이 고체이기 때문에 절연유를 사용한 변압기의 절연열화와 다른 문제점을 들 수 있으며, 이것들을 고려한 절연설계가 필요하다. 고체절연물이 가져야 할 특성으로서는 기계적인 특성(내 클러킹성, 내 더멀 쇼크성, 내 히트 사이클성, 내 충격특성 등)과 전기적 특성(내 트러킹성, 내 임펄스성, 내부분 방전특성 등)이 요구된다. 기계적인 특성은 절연유와는 상이한 고체절연물 고유의 특성이지만 여기서는 보수·관리에 도움을 주기 위한 전기적인 내전압 특성을 주체로 한 절연열화의 진단방법에 대해서 몰드 변압기를 소개하면서 기술하기로 한다.

## 1. 몰드 변압기

### (1) 몰드 변압기의 개요

<그림1>에 몰드 변압기의 구조와 절연구성의 예를 든다. 권선은 고압·저압 각각 에폭시 수지 등의 고체절연물로 충전(몰드)하는 절연구성으로 되어 있다. 고압 권선과 저압 권선간은 냉각 덕트를 설치, 공기에 의한 냉각 및 절연을 하고 있다.

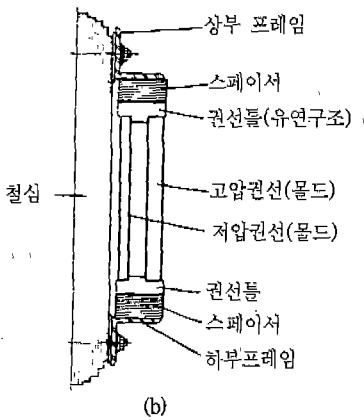
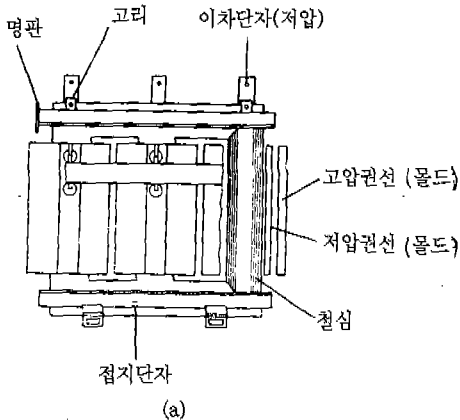
몰드 권선의 지지는 상하단부의 탄성체 스페이서를 걸쳐 플레임에 고정되는 구조로 되어 있다. 또 각상의 권선을 접속하는 상간 접속 리드도 수지로 하나로 몰드되어 충전부의 노출을 적게한 구조로 되어 있다.

몰드 변압기의 특징으로서는 다음과 같은 것을 들 수 있다.

(i) 난연성 : 에폭시 수지를 주로 한 고체절연물의 예를 들면 실리카 등의 무기물을 충전 배합하고 있으며 난연성, 자기소화성이 있다.

(ii) 단락 전류에 강하다 : 고압권선과 저압권선이 각각 수지로 처리되어 있기 때문에 기계적으로 견고한 구조이며 2 차측의 완전단락이 있더라도 견딜 수 있다.

(iii) 단락간 과부하 내량이 크다 : 권선의 열 용량



<그림 1>

이 크고 온도 상승의 시정수(時定數)가 크기 때문에 단시간의 과부하 내량(耐量)이 커진다.

(iv) 소형, 정량: 권선간의 절연거리, 턴간의 절연 구성이 얇아도 되기 때문에 전체가 소형화된다. 중량에 있어서도 권선간 및 그 주위가 고체절연물 이외의 곳은 기름 대신 공기가 되기 때문에 그만큼 경량화되게 된다.

(v) 저전력손실: 변압기 전체를 소형, 경량화함으로써 철심 및 권선에 발생하는 손실을 저감할 수 있어 에너지 절약형 기기라 할 수가 있다.

(vi) 저소음: 음의 발생원인 철심에서 생기는 소음

이 몰드 권선에 의해 차음(遮音)되게 된다. 따라서 H중 건식변압기 보다 저소음화할 수 있다.

(vii) 간단한 보수·점검: 권선이 흡수성이 적은 에폭시 수지로 처리되어 있어 내진성, 내습성에 우수하다. 분위기 등과 같은 주위조건의 영향을 적게 받고 장시간의 운전 휴지 후라도 용이하게 운전해 들어갈 수 있는 등 보수·점검이 간단하다.

## (2) 몰드 변압기의 절연기술

몰드 변압기를 절연설계적으로 보면 <표1>에 표시하듯이 일반적으로 3종류의 절연구성으로 분류된다. (가)의 부분은 전극간을 고체절연으로 충전한 구성으로 부분방전을 발생하는 원인이 되는 보이드를 남기지 않도록 하고 또한 전계를 일정치 이하로 억제하도록 설계되어 있다.

(나)의 부분은 고체와 기체의 복합절연 구성으로 내전압시험 전압에 충분히 견딜 수 있도록 공기 갭과 수지 두께의 설계가 되어 있으며 몰드 부분 표면의 연면절연에 대한 배려도 되어 있다.

(다)의 부분은 레어간의 절연으로 통상 운전시의 턴간 전압, 침입 서지 전압, 송전계통 이상시에 발생하는 이상전압 분담에 견디도록 설계되어 있다.

## 2. 절연열화의 측정방법

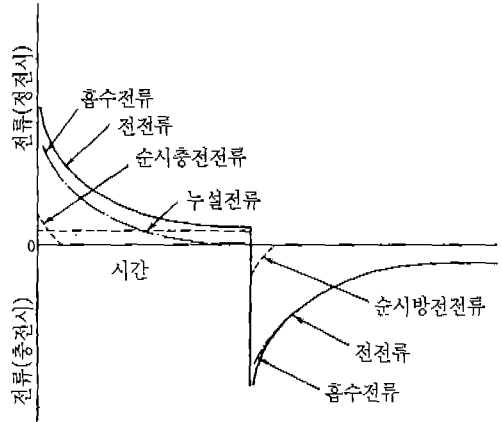
다음에 일반적으로 실시되고 있는 몰드 변압기의 절연열화를 진단하는 방법에 대해서 그 개요를 소개한다. 이것에 대해서는 <표 2>와 같은 열화진단법에 있다.

### (1) 절연시험

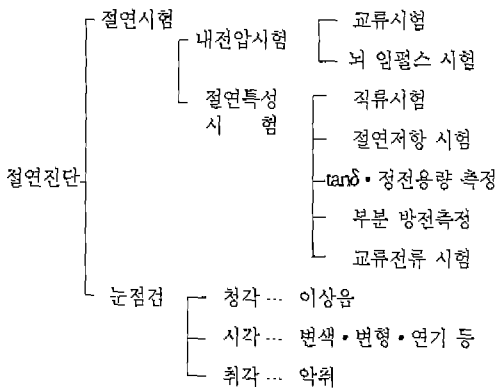
절연시험은 <표 2>에 표시하듯이 내전압시험과 절연특성시험으로 대별된다.

<표1> 몰드 변압기의 각부와 절연구성

	몰드변압기 각부	절연구성
(가)	몰드 권선내 코일간 및 리드간 상간 접속 리드간	몰드 절연물
(나)	고압권선과 저압권선간 고압권선과 대지간 저압권선과 철심·대지간	몰드 절연물, 공기
(다)	권선 내층간	필름 절연물, 기타



<표2> 절연진단 방법



<그림 2> 전류-시간의특성

(가) 직류시험

직류시험은 절연물에 직류전압을 인가했을 때의 전류-시간특성, 절연저항-전압특성 또는 절연저항-온도특성 등에서 절연특성, 특히 건조·흡습 도전성 불순물의 혼입, 절연의 결함 등과 같은 상태를 조사하는 시험이다. 비교적 용이하게 실시할 수 있는 전류-시간특성에 의한 진단법에 대해서 설명을 한다.

즉, 일반적으로 절연물에 직류전압을 가했을 때의 전류는 <그림 2>와 같이 흐른다. 이 전류는 순시충전전류, 흡수전류 및 누설전류의 성분으로 구분된다.

순시충전전류는 정전용량을 충전하는 것으로, 단시간에 감쇠하고 누설전류는 절연저항에 대응하는 전류로 일정하다. 흡수전류 절연물의 성상(性狀)을 표시하는 것으로, 감쇠할때까지 상당한 시간이 필요하며 건조되어 있는 것일수록 길다. 이것들의 정량적인 판정방법으로서 성극지수(成極指數)가 있는데, 다음과 같이 표시되어 흡수할 수록 1에 가까워진다.

$$\text{성극지수} = \frac{\text{전압인가 1분째의 전류}}{\text{전압인가 10분째의 전류}}$$

(a) 내전압시험

내전압시험의 목적은 규정된 시험전압에 견디는 것을 검증함으로써 일정기간의 사용을 보증하는 것이다. 시험전압의 값이나 시간과 공시물(供試物)의 절연열화의 진전정도에 따라서는 시험중에 절연파괴를 일으킬 가능성도 있지만 절연열화 진단으로서는 확실하다.

(b) 절연특성시험

절연특성시험이란 절연물의 열화나 흡습 등의 정도를 판정하여 사고의 발생을 미연에 방지하는 것을 목적으로 한 시험이다. 여기서는 현장에 있어서의 절연열화진단의 효과적인 방법을 소개한다.

(나) 절연저항측정(메가 측정)

직류시험의 일종으로, 직류의 절연저항계(메가)를 사용하여 절연저항치(메그 값)를 측정한다. 메그 값은 공시물의 절연구조, 형상, 치수 등에 따라 달라지므로 절대치 그것으로 절연의 양부를 판단하기에는 곤란한 경우가 많으며, 따라서 정기적으로 메그 측정을 시행, 측정시의 상황이나 경년변화 등에 의해 통합적으로 판단하여야 한다.

(다)  $\tan\delta$  및 정전용량

절연물에 교류전압을 인가하면 손실(유전손실)을 발생하며 그 크기는 인가전압과 전류에 의해 만들어지는 각도(유전손각)의 정접(正接: 유전정접  $\cdot \tan\delta$ )에 비례한다.  $\tan\delta$  치는 주로 사용되고 있는 절연재료나 구성방법에 의해 결정되지만 동시에 흡습, 건조, 오손 등에 의해서도 변화하므로 절연의 상태, 열화의 정도를 조사하는 데 사용되고 있다. 사용되는 측정기로서는 웨링 브리지, 역 웨링 브리지, 간단 웨링 브리지, 휴대용 손실각계 등이 있다. <그림 3>의 유입변압기의 경우와 같이 참고적으로 열화판정기준

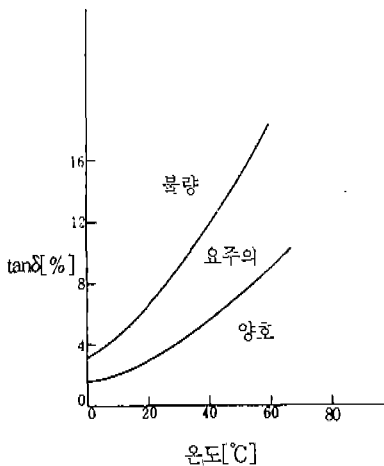
을 설정하고 관리의 기준으로 삼고 있는 것도 있지만 절대치만으로 양부를 판정하기는 곤란한 경우가 많으며, 공장시험치와의 비교, 정기적인 측정에 의한 열화의 정도 등에서 판단하는 것이 중요하다. 정전용량은  $\tan\delta$ 와 동시에 측정할 수가 있으며 그 증가경향에서 절연열화를 진단할 수도 있는 경우가 있다.

(라) 부분방전시험

절연물 내에 보이든나 국부적인 결함이 있는 경우 인가전압이 어느 값 이상이 되면 부분방전이 생긴다. 이 방전 에너지에 의해 절연물이 서서히 침식되고, 그 결과 절연파괴를 일으킬 위험성이 있다. 따라서 상규전압에서는 부분방전이 발생않는 것이 바람직하다. 이 시험에 의한 열화판정은 정량적이고 효과적이며, 특히 현장에 있어서는 중요하므로 다음 항에서 다시 더 구체적으로 기술한다.

(마) 교류전압시험

이 시험은 절연내력시험과 동일한 방법으로 피시험물에 교류전압을 인가했을때 흐르는 전류와 전압의 관계에서 절연의 상태를 조사하려는 것이다. 절연물에 흐르는 전류는 인가전압의 크기, 주파수, 시험물의 캐피턴스 및  $\tan\delta$ 에 의해 정해진다. 일반적으로 절연물이 흡습하면 유전율이나  $\tan\delta$ 가 증대하고 또한 부분방전이 발생하면 보기상의 캐피턴스가 증가하며 그에 의해 전류가 변화한다. 이 전류변화를 측정함으로써 절연물의 열화진단을 할 수가 있다. 그리고 또 전류파형을 관측함으로써 부분방전 펄스 등의 측정도 가능하다.



<그림 3> 유입변압기 절연의 열화판정기준의 예

(2) 눈 점검

눈점검이란 눈으로 변압기 외부의 색 변화를 보거나 누유 이상유발의 발생상황, 코로 이상한 냄새를 감지하는 것으로써, 전기적 검출에 의하는 것을 일상적인 점검에서는 실제적이 아닌 것에 대해 몰드 변압기의 절연열화를 아는데 있어서는 비교적 중요한 항

## 현장기술①

목이다.

### 3. 부분방전시험의 개요

절연열화진단중에서 특히 중요한 항목의 하나인 부분방전시험을 실시하는데 있어서 이것을 구성하는 피시험기, 시험장치, 전원 등에 대해서 설명한다. 절연물에 부분방전이 생기면 발생장소에 미소한 펄스성 전압변화가 일어난다. 이것을 전기적인 회로로 검출하기 때문에 시험회로는 다음과 같은 구성이 된다.

(i) 피시험물

(ii) 검출 임피던스: 저항 또는 리액턴스

(iii) 커플링 콘덴서

(iv) 부분방전측정기: ERA 미터, RIV미터, 초음파 마이크

(v) 노이즈 대책용 각종 필터: 로퍼스 필터, 노이즈 커트 트랜스

몰드 변압기의 부분방전시험에서는 유입 변압기와 달리 다음과 같은 유의해야 할 사항이 있다.

(a) 몰드 표면에 먼지 등이 부착되어 있는 경우에는 이 부분에서 기중방전이 발생하기 쉬우므로 잘 청소해야 한다.

(b) 부분방전의 절대치 그 자체가 작기 때문에 노이즈 대책이 어렵다.

(c) 탱크 벽이 없기 때문에 부분방전을 발생할때 동시에 발생하는 방전음의 검출이 어렵다.

상기와 같은 점을 충분히 고려하고 몰드 변압기의

현장에 있어서의 부분방전의 측정에 대해서 기술한다.

<그림 4>와 같은 회로로 공장에 있어서는 여자를 낮추기 위해 고주파발전기를 사용, 전원주파수를 올려 상규사용전압의 2배 정도까지의 전압을 인가한다.

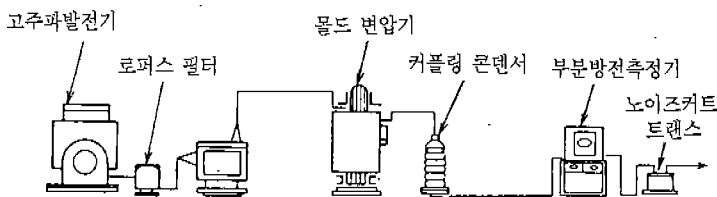
이때 발생하는 내부의 부분방전은 고주파의 펄스이므로 커플링 콘덴서를 통해서 검출, 검출임피던스에서 부분방전 측정기에 유도한다.

몰드 변압기는 유입변압기와 비교할때 부분방전의 관리치가 작고 엄격하기 때문에 외부잡음을 특히 작게 하여야 한다. 그 때문에 부분방전측정기의 전원에 노이즈커트 변압기를 넣어 전원으로부터의 노이즈를 저감하도록하고 있다. 또한 피시험물에 공급하는 전원에도 로퍼스 필터를 삽입하는 등으로 전원측 노이즈를 저감하는 등과 같은 대책도 필요하다.

유입변압기의 경우에는 부분방전과 동시에 발생하는 초음파를 탱크벽 표면에 자석 등으로 장치한 초음파 마이크로 검출하고 있다. 그러나 몰드 변압기에는 탱크벽이 없으며 권선의 몰드부 표면에 마이크를 장치하는 것은 안전성에 문제가 있다. 그러므로 마이크에 절연물을 붙이는 등으로 코일 표면과 절연을 주게하여 부분방전음을 측정하여야 한다.

### 4. 절연진단기술의 고도화

근래에는 예방보전의 수요가 높아져 절연진단기술



<그림 4>

에 대해서 한층 고도의 것이 요구되게 되었다. 몰드 절연 특유의 각종 보이드의 부분방전 특성을 해석하고, 반대로 그 부분방전 패턴에서 보이드 성상의 추정을 할 수 있게 되고 있다. 상기와 같이 방전특성 그 자체의 해석 이외에 또 한편에서는 측정기에 관한 개량 연구도 실시되고 있어 진단기술의 더한층의 고도화가 도모되고 있다. 몰드 제품은 잠음대책이 포인트이고 그것에 대해서는 종래로부터 연구되어 온 밸런스법에 의한 애널로그적인 잠음저감 제거방법과 새롭게는 전산기를 사용한 논리적 변별 제거법에 의해 잠음 대책이 세워지고 있다.

여기서는 마이컴을 이용한 부분방전의 해석장치에 대해서 소개한다. 부분방전 현상은 복잡한 현상으로서 종래의 애널로그 계측으로는 충분한 정보를 얻을 수 없는 경우가 있다. 그래서 부분방전의 크기와 위상( $q-\phi$ ), 발생빈도와 위상( $n-\phi$ ), 누적발생빈도와 크기( $n-q$ )의 여러 특성을 마이컴을 이용해서 데이터를 처리하고 이것들의 정보를 바탕으로 방전현상을 해석하는 시스템에 대해서 기술한다.

부분방전의 측정, 해석 시스템을 <그림 5>에 든다.

방전펄스는 검출기에 의해 인입되어 증폭하고 나서 논리변별회로에서 외부잡음을 제거한 후 내부방전펄스만 출력된다. 이 펄스는 A/D 컨버터에서 디지털화되고 그 발생이상(移相)과 함께 CPU에 기억된다. 지정 사이클분의 데이터를 넣은 후 프로그램에 의해

$q-\phi, n-\phi, n-q$ 의 여러 특성이 연산처리되고 X-y 레코더에 출력된다. 이 데이터는 다음과 같이 처리된다. 즉, 1회의 데이터 처리는 전원주파 1사이클분을  $M$ 개의 구간에 분할, 펄스의 크기, 발생위상이 전부 각 분할구간에 대응해서 기억된다.  $N$ 사이클분의 데이터를 넣은 후  $R$ 구간에 발생한 펄스의 크기  $q_{kj}$  발생개수  $n_{rj}$ 로 하고 2구간의 펄스 평균 크기를  $q_h = \sum_j q_{kj} \cdot n_{rj} / n_{rj}$  1사이클 당의 평균발생개수를

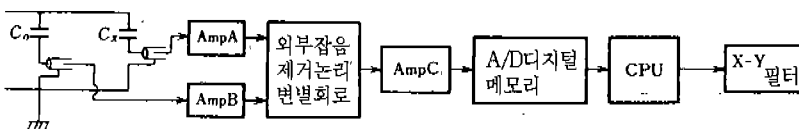
$$nR = \sum_j n_{rj} / N$$

로 하고 있다. 위상분할수  $M$ , 넣기회수  $N$ , 출력형태, 방전 펄스의 정 또는 부, 절대치 처리 등은 CPU의 조작으로 지정된다. <그림 6>은  $q-\phi, n-\phi, n-q$  특성의 출력레이다.

이 해석장치는 논리제어 잠음변별회로가 있으며 잠음대책을 비교적 용이하게 할 수 있고 결과가 프로그램 처리로 자동적으로 그래프화 출력된다. 따라서 측정해석이 단시간에 되며 또 종래 무시하고 있던 위상정보가 얻어지고 방전특성의 패턴화가 가능, 그 특성을 종합적으로 파악할 수가 있다.

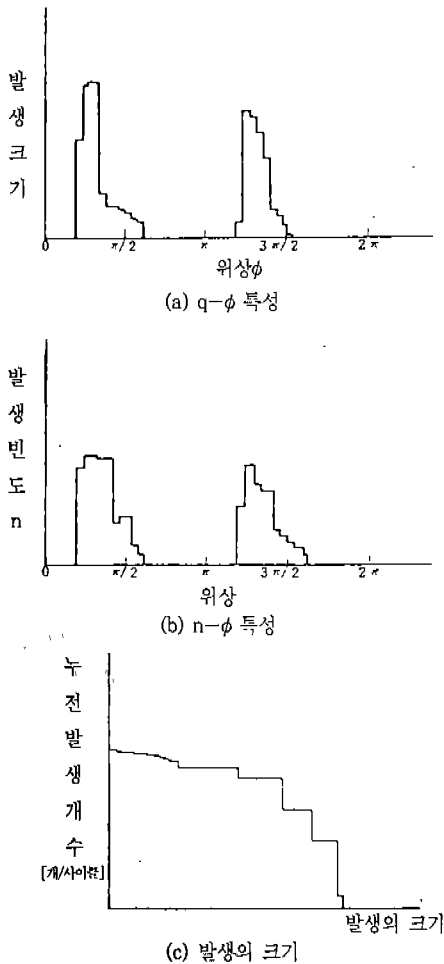
## 맺음말

몰드 제품이 증가하는 경향이 있는 가운데 변압기 도 그 좋은 점을 이용한 몰드 변압기가 증가하고 있



<그림 5> 부분방전 해석 시스템

다. 이러한 수요의 증가와 함께 예방 보전기술 및 합리화라는 관점에서 절연진단에 대해서 보다 고도의 요구가 있다. 여기서는 몰드 변압기의 특징 및 절연진단기술에 대해서 일반적인 주의사항과 최근의 마이컴을 사용한 절연진단, 특히 부분방전에 의한 계측에 대해서 취급해 보았다. 금후 계산기를 주체로 한 측정기 및 측정법에 대해서는 현장에서의 취급을 고려한 개발과 개량이 필요해진 것으로 생각한다.㉔



<그림 6>

## 전기설비 안전점검 수수료 안내

### 가. 기본료 및 건당 수수료

점검종류	구분	수수료 (원)
기 차	본	50,000
	표	20,000
단 기	1	조
시 험		

### 나. 설비규모별 수수료

점검의 종류	kW당 요금 (원)	개별점검요청시 적용
설비규모(kW)		
처음 3000kW까지	160	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 절연지향측정 50% 적용</li> <li>• 접지저항측정 30% 적용</li> </ul>
다음 3000kW부터	130	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 조명측정 10% 적용</li> <li>• 기술점검 20% 적용</li> </ul>

### 다. 절연유 검사 수수료

구분	검사료(원)	비고
기본료	6,000	산출예) n건의 경우
내압시험	1,000	6,000 + (1,000 + 2,000)n
산기측정	2,000	= 검사료
계	9,000	

1. 산출지역은 출장비를 별도 추가함.
2. 상기점검 이외의 것은 쌍방향의에 의함.
3. 회원(회원사 포함)이 근무하는 업체는 전체 점검수수료의 20%를 할인함.

문의처: 사단법인 대한전기기사협회 안전과  
TEL: (02) 269-6311~5, FAX: (02) 269-6316