

바니쉬 함침이 절연지에 미치는 특성

김필환, 김주한, 이원영, 한상옥  
 충남대학교 전기공학과, 전력연구원\*

Electric Characteristics on the Insulating Paper with Varnish-Impregnant

Pil-Hwan Kim, Ju-Han Kim, Won-Yeong Lee, Sang-Ok Han  
 Dept. of Electrical Engineering, Chung-nam Univ

**Abstract** - We have investigated characteristics of varnish and oil impregnant. When transformers are manufactured with some moisture and varnish impregnant not entirely dried, those should be caused by factors that deteriorate the electrical or mechanical property after installation. Therefore, in this study we experienced moisture content of the new insulating paper and the varnish impregnant paper in the ratio of time for confirming factors that deteriorate the paper characteristics. Besides, we investigated a property study that was experienced the value of dielectric strength and tensile strength as no serviced insulating samples of transformer.

1. 서 론

최근 절연재료의 수명연구는 전기기기 성능에 직접적인 영향을 미치는 것으로 중요성이 높아지고 있는 추세에 있으며, 열화진단 및 평가기술의 확립이 요구되고 있는 실정이다. 변압기 제작 과정 중 내부에 수분을 함유하거나 바니쉬 함침시, 미 건조된 형태로 설치운전 될 경우 절연물 열화에 의하여 유입변압기는 절연지의 기계적 강도 저하, 변압기 진동 증가, 절연물의 절연내력 저하 및 가연성 가스발생 등 열화현상이 나타나고 빠른 절연지의 전기적, 기계적 특성 저하를 가져올 수 있다. 또한, 권선 온도 상승에 따른 바니쉬액이 절연유에 용해되거나 열적 열화가 심하게 될 경우 절연지의 중합도가 저하하게 되어 운전 후 빠른 시간 안에 절연지의 기계적, 전기적 특성을 악화시킬 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 변압기 운전전 절연지의 특성 저하를 가져올 수 있는 요인들을 알아보고 보다 좋은 개선을 위해 절연지 종류별로 수분함량에 따른 전기적, 기계적 특성 및 바니쉬 함침 특성에 대하여 시간별 수분 흡수 량을 시험하였다. 또한, 절연지의 유침 및 바니쉬 함침 특성 연구를 위해 종류별 절연유에 대한 절연지의 유침 및 함침에 따른 절연내력 시험 및 인장강도 시험을 통해 유침 및 함침에 따른 특성연구를 수행하였다.

2. 본 론

2.1 바니쉬 함침 특성

전기기기의 권선 절연물로 많이 쓰이고 있는 셀룰로오스계 절연지는 A종(105℃) 절연물로 열적 열화가 쉽고, 수분의 영향이 크며 산화 및 가수분해가 되기 쉬운 특성을 가지고 있다. 그림 1에서는 절연지 특성저하 요인을 나타내고 있는데 제작 과정 중 내부에 수분을 함유하거나 바니쉬 함침시 미 건조된 형태로 설치운전 될 경우

우 빠른 절연지의 특성 악화를 가져올 수 있다.

바니쉬 함침은 전기기기의 코일이나 도체의 절연 방습 등에 사용되며 바니쉬 자체의 성질 이외에 처리조건이나 대상재료에 따라 그 특성이 다르게 나타난다. 변압기의 제조과정 중에 바니쉬 함침공정의 주요 목적 및 함침에 따른 문제점 등을 다음과 같이 나열해 보았다.

○ 전기적 특성 향상

상온에서 130℃까지 체적고유저항은 급하게 저하되며 130℃이후부터는 변화가 적다. 인가전압의 상승에 따라 체적고유저항 값은 적어지는데 인가 전계에 따라 캐리어의 밀도가 증가하여 저항율이 낮아지는 특성을 갖는다. 곧 130℃영역까지 절연성을 보장하고 우수함을 확인할 수 있다.

○ 기계적인 고착

코일과 코일접착, 코일의 피막보호에 의한 기계력 향상

○ 방습에 의한 수분으로부터 보호

○ 방열을 잘하여 기기의 온도 상승방지

○ 바니쉬 함침의 문제점

함침시 완전한 진공진조를 하지 않을 경우 권선사이 및 변압기절연물 내부에 보이드 및 불순물이 존재하여 부분방전이나 권선층간 절연성능을 저하시키는 요인이 될 수 있다. 또한 변압기가 고온상태에서 운전시 바니쉬액이 절연유내로 흘러들어 유전특성에 영향을 줄 수 있다.

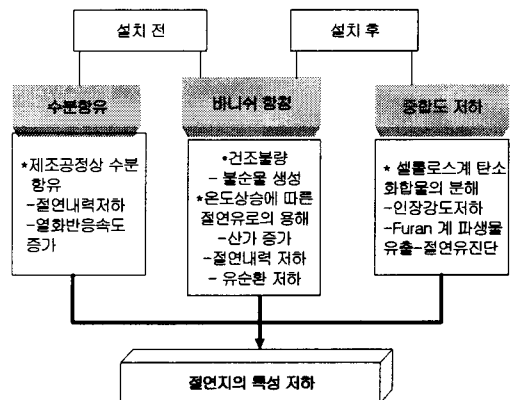


그림 1. 설치 전후의 절연지 특성 저하 요인  
 Fig. 1 Deteriorated factors of insulating paper characteristics before and after installation

## 2.2 실험장치 및 방법

본 연구에서는 절연지의 바니쉬합침 특성을 연구하기 위해 수분흡수, 기계적 특성으로 나누어서 실험 하였다. 먼저, 수분특성을 알아보기 위해 시료로써 셀룰로오스계 크래프트지와 아라미드계 절연지를 사용하여 바니쉬액이 담긴 용기에 2시간동안 진공상태에서 합침 하였다. 그리고 실험 결과 도출을 위해 자체주기시간 경과 후에 KS C 2313의 규격에 따라 측정하였는데 초기 값은 온도 110℃로 4시간 동안 진공 건조기에서 건조시킨 후 바로 무게를 측정하였다.

건조된 절연지는 수분의 양을 wt % = 0 으로 간주 하였다. 다음으로 항온 항습에서의 절연지의 합침 특성을 비교 분석하기 위해 항온 항습기를 이용하여 항온 30 ℃에서 항습 30, 50, 90 %에 대하여 바니쉬 합침 한 절연지의 특성 값 각 시간 경과 후 각 시료의 무게보다 0.5 %정확도를 가진 100 μg단위의 저울을 이용하여 측정하였다.

절연지의 절연내력 측정을 위해 각 종류의 시료는 110 ℃에서 완전히 건조한 수분함량이 0.1 %미만인 시료와 대기 중에서 1시간 및 12시간 방치하여 수분함량을 각각 측정된 시료로 나누워서 유중(광유) 내전압 시험기로 측정하였다. 각 시료에 대한 두께가 0.18 mm 로 동일하다고 가정하여 구전극의 간격을 두고 시험하였다.

절연지의 인장강도 측정은 KS M 7014 '종이 및 판지-인장강도 특성의 측정-정속 신장률법'에 준하여 하였다. 이 규격에 따르면 시료의 폭은 15 mm, 25 mm 로 하고 시험편의 길이(시험편이 단단하게 고정된 곳에서 가장 가까운 지점 사이의 거리)가 180 mm ± 2 mm 가 되도록 집게의 위치를 맞춘다. 하중 속도는 시험편이 평균 20초±5초 내에서 파괴가 일어날 수 있도록 조정해야 하지만 파괴시간이 30초 이상 걸리므로 인장 속도를 50 mm/min로 절단하였다. 인장강도는 절단시의 힘을 시험편의 원래 단면적으로 나눈 kgf/mm의 단위로 나타내었다. 시료종류로써 다음과 같이 3가지의 절연지로 실험하였다.

또한 대부분의 종이류는 찢어지는 방향성을 가지고 있기 때문에 다음과 같이 기계적 방향에 대한 크로스 방향 두 부류로 실험시료를 길이 210 × 폭 25×두께 0.18 mm 로서 제작하였다. 또한 같은 종류의 절연지에 대하여 바니쉬 합침후의 인장강도도 측정하였다. 바니쉬 합침은 먼저 건조기에서 110 ℃에서 4시간 건조시킨 절연지를 바니쉬 액속에 넣고 진공상태에서 약 40분간 합침 시켰다. 다음으로 합침액을 절연지로부터 뺏어낸 후 건조기에서 105 ℃에서 2시간동안 다시 건조시켜 제작하였다. 각 시료의 인장강도 시험 5회를 측정하였으며 각 종류의 일정한 크기의 절연지에 대하여 실험 및 바니쉬 합침후의 인장강도 최대 및 최소 값을 제외한 나머지 3개 값을 평균을 내었다.

## 2.3 실험결과 및 고찰

바니쉬 합침 특성을 파악하기 위해 앞에서 실험방법을 제시하였다. 이러한 실험을 통해서 먼저 바니쉬에 따른 수분 흡수 특성을 실험한 바에 따르면 대부분의 실험절연지의 경우 약 1시간 경과후 각 주위환경에 따른 포화값의 90 %에 도달하는 것을 볼 수 있으며 바니쉬 합침 후 셀룰로오스계 절연지의 경우 합침 전에 비해 수분 흡수 특성이 현저히 저하되고 있는 것을 볼 수 있었다. 아라미드계 절연지의 경우 합침 전후 큰 변화가 없는 것으로 나타나고 있다. 이러한 실험 절연지의 빠른 흡수성을 보았을 때 변압기 제조시 진공 건조후 빠른 바니쉬 및 절연유 합침이 필요하다. 절연지의 수분함량은 설치후 장기 운전시 절연재료의 일반적인 열화 요인으로 열화를 유발시킬 수 있으며 절연내력 및 사용시간에 따라 열화를 증진시키는 주요한 요인이기 때문이다.

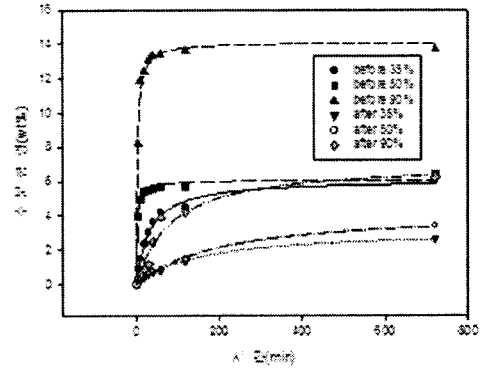


그림 2. 셀룰로오스 절연지의 바니쉬 합침 전후에 따른 수분함유 특성

Fig. 2 Moisture content property of cellulose paper according to impregnant

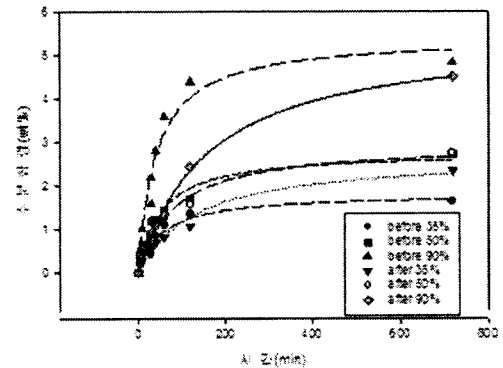


그림 3. 아라미드 절연지의 바니쉬 합침 전후에 따른 수분함유 특성

Fig. 3 Moisture content property of aramid paper according to impregnant

절연지의 수분함유량에 따른 절연내력을 측정하는 것은 그림 4에서 전극간 간격 0.18 mm로 일정하게 한 결과 값을 나타내고 있는데 아라미드계 절연지의 경우 적은 수분함유량에도 불구하고 절연내력 감소가 7.2 %로 셀룰로오스 계의 절연지에 비해 크게 나타났다. 수분을 더 많이 함유한 셀룰로오스계 절연지의 경우 유침 특성이 좋아 열적 특성에 따른 열화전 보다는 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

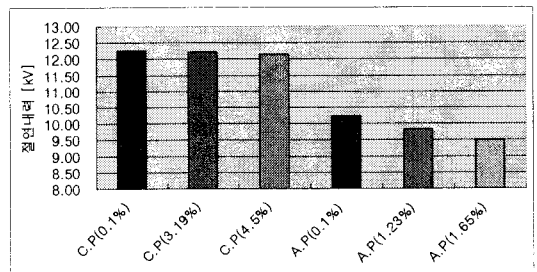


그림 4. 절연지의 수분함량에 따른 절연내력

Fig. 4 Dielectric strength according to moisture content of the insulation paper

이러한 유침 특성을 파악하기 위해 여러 변압기 절연유를 사용하여 유침에 대한 기본적 절연특성을 시험하였는데 표 1은 그 결과 값으로 유침에 따른 절연내력 변화를 보이고 있다. 셀룰로즈 절연지는 유침전에 비해 모든 절연유의 유침 후 100 % 이상 절연내력의 크기가 상승하여 나타났지만, 아라미드계 절연지의 경우 그 변화량은 적고 오차범위에 속하고 있다. 이러한 정확한 특성 파악을 위해 앞으로는 가속열화 시험을 통한 유침 특성 분석이 이루어질 필요가 있다고 사료된다.

표 1. 절연지의 유침 및 바니쉬함침에 따른 절연내력  
Table 1. Dielectric strength according to oil or varnish impregnant of the insulation paper

[kV/0.18mm]	신 품		유침(광유)		바니쉬함침	
	C.P*	A.P <sup>^</sup>	C.P	A.P	C.P	A.P
최 저 값	5.2	8.9	11.8	9.2	12.9	12.6
최 고 값	6.9	10.1	13.5	10.4	14.3	13.1
평 균 값	5.9	9.6	12.7	9.8	13.7	12.8

\*C,P ; 셀룰로즈계 절연지, ^A,P ; 아라미드계 절연지

기계적 특성을 알아보기 위해 절연지의 인장시험을 한 결과 바니쉬 함침전보다 바니쉬 함침후의 인장강도는 기계방향으로 15.7 %, 크로스 방향으로 16 % 증가하였는데 이 원인으로 바니쉬 함침에 따른 절연지의 두께증가 및 코팅과 같은 효과에 의한 표면 유효면의 증가로 인해 나타나는 것으로 사료된다. 이러한 절연지의 기계적 강도는 바니쉬 함침에 의해 증가하였다.

표 2. 유침 및 함침에 따른 인장강도  
Table 1. Peel strength according to oil or varnish impregnant of the insulation paper

단위 [kgf/0.18mm]	신 품	광 유 함 침	바니쉬 함 침
CP, MD*	12.99	11.26	14.18
변화율	0	-13.3 %	9.2 %
CP, XD <sup>^</sup>	7.33	6.26	8.62
변화율	0	-14.6 %	17.6 %
AP, MD	23.75	22.03	24.16
변화율	0	-7.2 %	1.7 %
AP, XD	13.82	12.88	14.34
변화율	0	-6.8%	3.7%

\*MD : Machine Direction, ^XD : Cross Direction

### 3. 결 론

절연지 종류별로 바니쉬 함침에 따른 수분특성 및 전기적 기계적 특성 파악하기 위해 먼저 시간별 수분흡수량을 시험하였는데 바니쉬 함침전후의 각 절연지별로 1 시간 이내에 포화값의 90 %에 도달하는 것을 확인하였다. 또한 함침에 따른 절연지의 수분함유량은 급격히 떨어졌으며 아라미드계 절연지의 경우 함침전후 큰 변화량이 없는 것으로 나타났다. 두 번째로 절연지의 유침 및 바니쉬 함침 특성시험을 위해 종류별 절연유에 대한 절연지의 유침 및 함침에 따른 절연내력 시험을 통해 셀룰

로스 절연지의 경우 100 % 절연내력이 향상됨을 볼 수 있었으며 아라미드계 절연지의 경우 그 변화량이 적고 오차범위에 속한 것을 확인하였다. 또한 인장강도 시험을 통해 유침시 10 % 특성 저하가 나타났지만 함침의 경우 기계적 고착 및 코팅의 효과에 의해 약 16 % 증가한 것을 확인하였다.

본 논문은 2003년도 전력산업연구개발사업 지원으로 수행된 논문입니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 송일근 외, "주상변압기 단락특성 개선에 관한 연구", 전력연구원, 2002
- [2] 김정훈 외, "절연 바니쉬의 전기적특성", 한국전기전자재료학회 하계 학술대회 논문집, 2001 pp.299-302[1] 저자명, "논문제목", 논문지명, 권호, 페이지, 출판년도
- [3] 임승욱 외, "절연지의 기계적 및 전기적 물성에 관한 연구", 전기전자재료학회 Vol.8 No.4, 1995 pp.413-417
- [4] 송일근 외, "배전용 변압기의 고장원인 분석기술", 조명전기설비학회지, 2001, pp.61-67
- [5] 하복남 외, "주상변압기 절연파괴 감소대책 연구", 전력연구원, 1991
- [6] 김양태 외, "주상변압기의 단락강도 향상을 위한 바니쉬 함침기술 동향", Proceedings of KIEE, Vol. 49, No.5, 2000
- [7] 김정훈 외, "바니쉬의 절연성 평가", 1999년 대한전기학회 추계 학술대회 논문집
- [8] H Herman etc, "A new approach to condition assessment and lifetime prediction of paper and oil used as transformer insulation", IEEE ICSD, 2001 pp.473-476
- [9] P. Thomas etc, "Ageing studies on paper and oil to assess the condition of solid insulation used in power transformers", IEEE ICSD, 2001 pp.69-72
- [10] R. L. Stegehuis, "Economic benefits of high temperature, synthetically reinforced cellulose insulation for overhead distribution transformers", IEEE, 2001 pp.680-683
- [11] M Ali etc, "Measuring and understanding the ageing of kraft insulating paper in power transformers", IEEE Electrical Insulation Magazine vol.12 No.12 1996, pp.28-34