

활성백토흡착제에 의한 변압기유중 극성유기물질의 정적흡착특성

김강호, 주혜련, 신계룡

변압기운행과정에 변압기유에서는 열과 높은 전압, 강한 전자기마당의 작용으로 산화 및 분해반응이 일어나 CO, CO₂, 휘발성탄화수소와 같은 기체물질과 알데히드, 케톤, 알콜, 유기산, 물과 같은 액체물질, 아스팔트와 카벤과 같은 고체화합물들이 생겨난다.[2, 5] 이산화산물들에 의하여 변압기유의 조성과 조종특성이 변하여 전기설비가 못쓰게 될수 있다.[2] 산성산화물과 히드록실화합물, 전기를 띤 부유물들은 고압전기마당속에서 루설전류를 발생시켜 전력손실을 일으키므로 이러한 극성물질들의 함량이 많아질수록 유전손실이 커지게 된다.[6-8] 또한 수용성유기산은 적은 량의 수분의 존재하에서도 금속을 부식[7]시키는데 이 금속이온에 의하여 변압기유의 산화가 촉진되고 극성유기물질들이 더 많이 생겨나게 된다.[5, 7] 유기산과 수분, 전기를 띤 부유물들은 변압기유의 절연내압에도 영향을 미친다.[3]

따라서 변압기유의 로화를 막고 리용안정성을 높이자면 변압기유에 들어있는 유기산을 비롯한 극성유기물질들을 제거하여야 한다.

변압기유에 들어있는 극성유기물질들을 효과적으로 제거하는 흡착제의 한가지는 활성백토흡착제이다.[9] 현재 우리 나라에서 활성백토흡착제는 콩기름정제에 리용되고있으며 극성유기물질흡착에 효과적인것으로 알려져있다.[1] 그러나 지금까지 우리 나라의 원료에 기초한 활성백토를 리용하여 변압기유를 정제하는 연구결과는 발표된것이 없다.

우리는 우리 나라의 원료에 기초하여 활성백토흡착제를 제조하고 변압기유에 들어있는 유기산을 비롯한 극성유기물질에 대한 정적흡착특성을 평가하였다.

실험 방법

흡착제시료는 선행연구[1]에서와 같은 방법으로 수과분리와 산처리를 하고 350℃에서 3h동안 소성하여 제조하였다. 흡착제의 립도는 100 μ m이하이고 첨가량은 변압기유질량의 5%이다. 변압기유시료는 30년이상 리용한 TK급고압변압기유이다.

일정한 량의 변압기유에 흡착제분말을 분산시키고 200r/min의 속도로 교반시키면서 일정한 시간동안 흡착시킨 후 고액분리한 다음 산가를 측정하여 시간에 따르는 흡착특성을 평가하였다. 작업조건에서 변압기유의 최저온도는 25℃이므로 흡착온도를 25℃로 하였다. 온도가 높아지면 흡착특성은 더 좋아진다.

산가는 1g의 기름속에 들어있는 유기산을 중화시키는데 필요한 KOH의 량(mg)으로 표시하는데 변압기유에 들어있는 유기산의 량을 반영한다.

유기산흡착량은

$$\text{흡착량} = (\text{초기 산가} - \text{마감 산가}) \times \text{기름질량} / \text{흡착제질량}$$

과 같이 계산된다.[10]

절연내압은 절연내압측정장치(《HB-BY》)로, 조건점도는 앵글러점도계로, 인화점은 인화점측정장치(《ПВНЭ》)로, 유전손실인자는 유전손실인자측정장치(《P525》)로, 변압기유의 적외선흡수스펙트르는 적외선스펙트르분광기(《Nicolet-67》)로 측정하였다.

실험결과 및 해석

변압기유에서 진행되는 흡착과정은 고액계면에서 진행되므로 확산의 영향을 받는다. 산가변화가 같을 때 교반조건에 따르는 활성백토의 유기산흡착시간은 표 1과 같다.

표 1. 교반조건에 따르는 활성백토의 유기산흡착시간

교반조건	산가/(mg · g ⁻¹)		흡착시간/h
	초기	마감	
교반	0.150	0.025	5
교반하지 않음	0.150	0.025	192

표 1에서 보는바와 같이 교반하지 않은 경우에도 일정한 시간이 지나면 산가가 낮아진다. 그러나 교반할 때와 하지 않을 때 같은 산가변화에 도달하는 시간이 크게 차이난다. 이것은 변압기유의 점도가 높고 흡착온도가 낮기때문에 변압기유에서 유기산의 흡착과정이 확산의 영향을

을 심하게 받는다는것을 보여준다.

수분이 들어가면 변압기유의 질이 급격히 떨어지기때문에 현장에서는 변압기유를 대기중에 8h이상 로출시킬수 없다. 따라서 흡착정제시간을 단축하자면 반드시 교반을 해주어야 한다.

교반속도가 200r/min일 때 시간에 따르는 변압기유의 산가변화는 그림 1과 같다.

그림 1에서 보는바와 같이 흡착정제과정 시간에 따라 산가는 지수함수적으로 감소한다.

구형고체의 내부와 결면으로 확산이 진행될 때 확산되지 않은 물질의 총량은 시간에 따라 지수함수적으로 감소한다.[4] 따라서 활성백토에 의한 유기산흡착은 확산률속으로 진행된다고 볼수 있다. 이것은 표 1의 결과와 잘 일치한다.

그림 1의 결과로부터 추정한 흡착제시료의 최대유기산흡착량은 2.6mg/g이다.

또한 그림 1에서 보는바와 같이 5h후에는 산가가 거의 변하지 않는다는것을 알수 있다. 따라서 교반속도가 200r/min일 때 변압기유흡착정제시간은 5h이면 충분하며 이것은 현장요구조건에도 부합된다.

우의 결과에 기초하여 활성백토분말에 의한 변압기유의 유기산흡착과정은 유기산이 기공내부로 확산되는 단계와 결면에서의 흡착단계로 구분되며 흡착온도가 25℃일 때에는 기공내부에서의 확산이 툴속단계라고 볼수 있다.

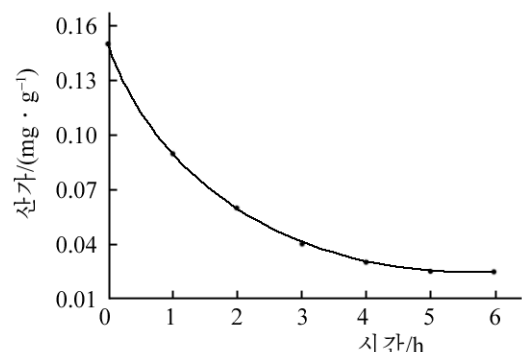


그림 1. 시간에 따르는 산가변화

교반속도 200r/min, 흡착정제시간 5h일 때 30년이상 리용한 TK급고압변압기유의 흡착정제실험결과는 표 2와 같다.

표 2에서 보는바와 같이 흡착정제후 모든 질지표들에서 30년전수준과 같아졌으며 기준값에 거의 도달하였다. 이것은 활성백토흡착제가 TK급고압변압기유를 흡착정제하는데서 아주 효과적이며 변압기유의 리용수명을 30년 더 연장할수 있다는것을 보여준다.

또한 흡착정제후 변압기유의 점도가 작아지고 인화점이 높아진다는것을 알수 있다.

변압기유의 점도가 커지면 류동성이 떨어지고 변압기유에 분산된 로화산물들이 침전되기 힘들며 이로 하여 변압기유의 절연특성을 나쁘게 만들수 있다.[7] 또한 변압기유의 인화점이 낮으면 변압기운행과정에 사고를 쉽게 일으킬수 있다.

표 2에서 보는바와 같이 흡착정제후 절연내압이 높아지고 유전손실인자가 낮아진다. 이 지표들은 단순히 유기산에만 매이는것이 아니며 기타 극성산화생성물들에도 매인다. 이로부터 활성백토흡착제는 유기산을 포함하여 변압기유의 질에 영향을 주는 극성유기물질들을 모두 흡착한다는것을 알수 있다. 이것은 선행연구결과[1]와 일치한다.

따라서 변압기유를 활성백토로 정제하면 변압기유의 절연특성과 운영안정성을 높일수 있다.

정제전과 정제후 변압기유의 적외선흡수스펙트르는 그림 2와 같다.

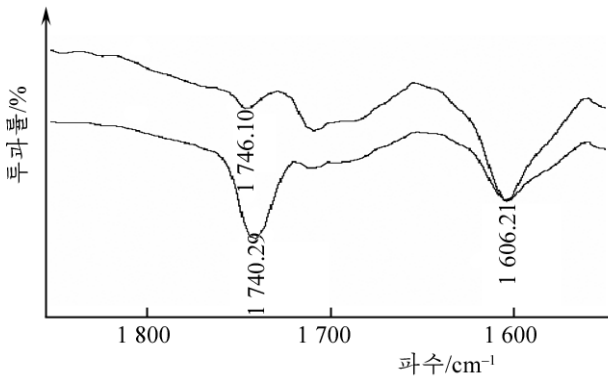


그림 2. 정제전(1)과 정제후(2) 변압기유의 적외선흡수스펙트르

화수소의 함량이 많아진다는것을 보여주며 1740cm⁻¹근방에서의 흡수띠세기가 작아지는 것은 기본산화생성물인 극성유기물질들의 함량이 적어진다는것을 보여준다.

따라서 활성백토는 유기산을 포함한 극성유기물질들을 효과적으로 흡착제거하며 변압기유의 산화안정성을 높일수 있다.

표 2. 활성백토흡착제에 의한 변압기유정제실험결과

질지표	변압기유			기준값
	30년전	정제전	정제후	
조건점도(50℃)	1.52	1.68	1.51	<1.8
인화점/℃	148	139	148	>135
산가/(mg · g ⁻¹)	0.034	0.15	0.025	0.020
수용성산, 알칼리	중성	산성	중성	중성
절연내압/kV	—	46.0	55.6	55.0
tanδ% (20℃)	—	0.10	<0.05	0.15

그림 2에서 보는바와 같이 벤졸 고리의 C=C진동에 해당하는 1606cm⁻¹ 근방에서의 흡수띠[6]와 C=O기의 형성 및 산화에 해당하는 1740cm⁻¹근방에서의 흡수띠[2]가 나타났다.

1740cm⁻¹근방에서의 흡수띠세기는 변압기유의 리용기간에 따라 증가한다.[2]

정제후 1606cm⁻¹근방에서의 흡수띠세기가 커지는것은 변압기유의 산화안정성을 높여주는 무극성방향족탄

맺는말

25°C에서 활성백토흡착제에 의한 변압기유중극성유기물질흡착과정은 기공내확산과정이 물속이므로 흡착정제시간을 단축하자면 반드시 교반해주어야 한다.

산가가 0.15mg/g정도인 TK급고압변압기유를 활성백토흡착제로 정제하면 기본질지표들이 새 기름지표에 거의 도달하며 변압기유의 리용수명을 30년 더 연장할수 있다.

활성백토흡착제는 유기산을 포함한 극성유기물질들을 효과적으로 흡착제거하며 변압기유의 산화안정성을 높일수 있다.

참고문헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 59, 5, 76, 주체102(2013).
- [2] M. P. Zakharich et al.; Journal of Applied Spectroscopy, 68, 1, 61, 2001.
- [3] S. Okabe et al.; IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 17, 1, 302, 2010.
- [4] H. Mehrer; Diffusion in Solids, Springer, 52, 2007.
- [5] 任乔林 等; 高电压技术, 34, 8, 1761, 2008.
- [6] 杨道武 等; 变压器, 45, 7, 47, 2008.
- [7] 龙伟文; 变压器, 39, 1, 34, 2002.
- [8] 李川 等; 变压器, 45, 2, 29, 2008.
- [9] 王晋华 等; 变压器, 39, 7, 26, 2002.
- [10] 李智 等; 华东电力, 11, 34, 1996.

주체104(2015)년 10월 5일 원고접수

Static Adsorption Characteristics of Polar Organic Material in Transformer Oil by Activated Clay Adsorbent

Kim Kang Ho, Ju Hye Ryon and Sin Kye Ryong

The basic investigation for adsorption-refining of high voltage transformer oil of the grade TK in service using activated clay was made. The measurements of acid values, water-soluble acids and alkalis, breakdown voltages and dielectric loss factors, which are main quality indexes of transformer oil, were closely satisfied for the requirements of new transformer oil in all indexes. The organic acids and other polar organic materials in transformer oil can be efficiently removed by the activated clay adsorbent.

Key words: activated clay adsorbent, transformer oil, adsorption-refining