

변압기용 가스켓의 오존 열화특성 평가 기술

소진중, 심대섭, 김범진
한국전기연구원

Assessment of Ozone Degradation of Gasket Using Transformer

Jin Joong Soh, Dae Sub Shim, Bum Jin Kim
KERI

Abstract - Acrylonitrile Butadiene Rubber (NBR) has been used as a transformer gasket material because the transformer gaskets should have high resistivity to oil and should not swell and deform when it contact to insulating oils.

Serious cracks were observed in the gaskets being used and ozone test was performed on new specimens. Cracks were also observed on specimens.

So we have performed the following tests on the anti-oxidants containing new gaskets according in accordance with KEPCO purchase specifications: ozone resistance, oil resistance, mechanical properties before and after aging.

및 신율은 측정값이 큰 것부터 차례로 $S_1 \geq S_2 \geq S_3 \geq S_4$ 로 하여 다음의 식에 의하여 계산하였다.

$$\text{인장강도 및 신율} = 0.5S_1 + 0.3S_2 + 0.1(S_3 + S_4)$$

2.2 가열노화시험

가열노화시험은 시편을 120℃에서 70시간동안 항온조에서 노화시킨 후, 꺼내어 실온에 16~96시간동안 방치하여 상온인장시험과 같은 방법으로 인장강도 및 신장율을 측정하였다. 가열노화시험의 인장강도 및 신장율의 계산은 다음의 식에 의하여 계산하였다.

$$A_R = \frac{1}{4} \left(\frac{S_{21}}{S_{11}} + \frac{S_{22}}{S_{12}} + \frac{S_{23}}{S_{13}} + \frac{S_{24}}{S_{14}} \right) \times 100$$

$$A_C = A_R - 100$$

여기서,

A_R : 가열전 인장강도 및 신장율에 대한 가열후의 잔류율(%)

A_C : 가열전 인장강도 및 신장율에 대한 가열후의 변화율(%)

$S_{11}, S_{12}, S_{13}, S_{14}$: 가열전 시험편의 인장강도 및 신장율 측정값의 크기순서

$S_{21}, S_{22}, S_{23}, S_{24}$: 가열후 시험편의 인장강도 및 신장율 측정값의 크기순서

1. 서 론

변압기에 사용되는 가스켓은 Nitrile계 고무인 Acrylonitrile Butadiene Rubber(NBR) 또는 동등이상의 재질을 사용하도록 한전규격에 명시되어 있으며, 특성시험은 KSB 2805 및 KSM 6518에 따른다. Nitrile계 고무를 사용하는 이유는 가스켓이 절연유와 접촉하였을 때 부풀거나 변형되지 않아야 하므로 내유성이 우수한 Nitrile계 고무를 사용한다.

변압기의 절연열화 특성에 큰 영향을 미치는 수분의 침입은 최대한 막아야 하며, 특히 주상에서 운전중인 변압기의 기밀유지가 중요하다. 이러한 기밀 유지를 담당하고 있는 것이 가스켓이며, 1차 붕싱연결부, 2차 붕싱연결부등 취약한 부위에 주로 사용된다. 가스켓이 갈라질 경우 변압기 내부로 수분이 침투해 변압기의 수명이 치명적인 영향을 주게 된다.

사용중인 변압기의 가스켓을 조사를 한 결과 가스켓의 갈라짐 현상이 발견되었으며, 일부는 매우 심하게 갈라지는 것이 많았다. 제조업체에서 가스켓과 동일하게 제작하여 제시한 시료로 시험한 결과 대부분 오존시험에서 균열이 발생하였다.

따라서 본 평가시험에서는 열화를 방지하는 노화방지제 등의 첨가제를 적절하게 배합하여 업체에서 제작한 가스켓으로 상온, 가열, 내유 및 오존시험을 한전의 개정된 변압기에 대한 규격을 기본으로 하고 1999년에 시험한 결과와 비교하여 특성을 평가하였다.

2. 시 험

2.1 상온인장시험

상온인장시험은 Instron사의 INSTRON 4302 만능시험기(Universal Test Machine, UTM)를 사용하여 KSM 6518의 가황고무 물리시험법에 의거하여 측정하였다. 시험기의 하중보정은 시험 시마다 하였으며, 인장속도 $500 \pm 25 \text{mm/min}$, 신율거리 20mm로 하여 파단 시의 인장강도 및 신율을 측정하였다. 시험편의 인장강도

2.3 내유시험

내유시험은 시편을 KSM 6518의 표4의 윤활유 1종, 3종의 시험용 기름에 침지하여 120℃에서 70시간동안 가열하고 실온에 16~96시간동안 방치하여 가열노화시험과 같은 방법으로 인장강도 및 신장율을 측정하였다. 그리고 한전의 구매시방서에는 절연유에 대한 내유시험은 없으나 실제로 변압기용 절연유에서 사용하므로 절연유(1종 2호)에 대한 시험을 추가하였다.

2.4 오존균열시험

오존시험은 대경엔지니어링의 오존시험기인 Digital O₃ Tester로 시험하였다. $50 \pm 5 \text{pphm}$ 의 저농도의 오존을 함유하는 공기중에 20% 신장시킨 시편을 40℃에서 24, 48, 96, 120 및 168시간동안 오존에 폭로하고, 또한 30, 40 및 50%로 신장시킨 시편을 72시간동안 오존에 폭로하여 시험하였다. 오존열화된 시편을 실온에 24시간 방치하여 상온인장시험과 같은 방법으로 인장강도 및 신장율을 측정하였다.

3. 결 과 및 고 찰

3.1 NBR packing의 상온특성

4개사의 NBR packing에 대하여 상온인장시험을 실시하고 그 결과를 Table 1에 나타내었다. 1999년에 생산된 제품의 인장강도는 4개사가 모두 한전 구매 시방서에 명기된 기준인장강도인 9.8kgf/cm^2 를 상회하는 $13.6 \sim 17.9 \text{kgf/cm}^2$ 의 인장강도를 나타내었다. 신장율은 219~345%로 B사를 제외한 A, C 및 D사가 기준보다 우수하였다. 2001년에 생산된 제품은 인장강도가 $11.91 \sim 15.9 \text{kgf/cm}^2$, 신장율이 403.6~496.3%로 기준

Table 1. 1999년 및 2001년에 제조된 4개사의 NBR packing의 상온시험결과

생산년도	시험항목	기준	A사	B사	C사	D사
1999년	인장강도 (kgf/cm ²)	9.8이상	16.7	13.6	14.8	17.9
	신 장 율 (%)	250이상	345.9	219	293.6	332.5
2001년	인장강도 (kgf/cm ²)	9.8이상	11.91	13.7	14.5	15.9
	신 장 율 (%)	250이상	467.9	420.7	496.3	403.6

Table 2. 1999년 및 2001년에 생산된 4개사 NBR packing의 가열노화시험 결과

생산년도	시험항목	기준	A 사	B 사	C 사	D 사
1999년	인장강도 변화율 (%)	최대 -15	22.0	17.6	25.2	-8.8
	신장율 변화율 (%)	최대 -45	-9.1	-13.5	-9.8	-56.8
2001년	인장강도 변화율 (%)	최대 -15	11.7	-0.1	3.4	-3.2
	신장율 변화율 (%)	최대 -45	-12.3	-43.7	-36.9	-34.7

Table 3. 1999년 및 2001년에 생산된 4개사 NBR packing의 내유시험 결과

생산년도 및 구분		시험항목	기준	A 사	B 사	C 사	D 사
1999년	윤활유 No.1	인장강도 변화율 (%)	최대 -15	9.6	6.3	21.5	7.5
		신장율 변화율 (%)	최대 -40	-9.0	-6.1	1.8	-33.7
2001년	윤활유 No.1	인장강도 변화율 (%)	최대 -15	13.4	-2.4	8.6	5.1
		신장율 변화율 (%)	최대 -40	-26.1	-23.5	-22.8	-27.3
	윤활유 No.3	인장강도 변화율 (%)	최대 -25	5.7	-12.7	1.3	3.3
		신장율 변화율 (%)	최대 -35	-9.2	-17.3	-14.9	-19.2
	절연유	인장강도 변화율 (%)	--	1.0	-2.4	-43.7	-
		신장율 변화율 (%)	--	-19.6	-28.2	-53.0	-

보다 우수하였고, B사의 시료도 신장율이 개선되었다. 위의 실험결과 1999년의 제품에 비하여 2001년에 생산된 제품은 대부분 신장율 특성이 개선되었으며, 인장강도는 대체적으로 일정하거나 감소하였는데, 이는 1999년 제품에서 보고된 갈라짐을 방지하기 위하여 각 제조사들이 각종 배합제의 처방을 변화하였거나, 새로운 첨가제를 사용하였기 때문으로 사료된다. 그러나 신장율 특성의 개선은 가황제의 사용을 줄여 가황도를 낮추거나 기본수지를 교체하는 방법 이외에 갈라짐 특성을 줄이기 위한 배합성분의 함량변화에 의한 변화도 가능하기 때문에 특성증가의 원인을 예측하기 곤란하였다.

3.2 NBR packing의 가열노화특성

4개사의 NBR packing에 대하여 가열노화시험을 실시하고, 상온인장강도 및 신장율에 대한 인장강도 및 신장변화율을 Table 2에 나타내었다. 가열시험시의 변화율을 비교하여보면 D사의 경우 신장변화율이 1999년에는 불량이었으나 2001년에 제조된 시료는 개선되어 양호하였다. 그러나 2001년에 제조된 4개사 시료의 변화율의 경우 모두 기준 변화율보다 우수하였지만, D사를 제외한 A, B 및 C사의 신율에 대한 변화율은 1999년에 제조된 시료보다 특성이 감소하였다.

가열노화시험후 인장강도의 증가는 시료내의 미가황물들이 가열에 의하여 지속적인 가교가 이루어지기 때문으로 사료되며, 대부분 신장율의 감소를 수반하였다. 그리고 인장강도가 약간 감소하게 되는 것은, 가교된 결합사슬이 열에 의하여 절단되었기 때문으로 사료된다.

3.3 NBR packing의 내유특성

4개사의 NBR packing에 대하여 내유시험을 실시하고, 상온인장강도 및 신장율에 대한 인장강도 및 신장변

화율을 Table 3에 나타내었다. 1999년 및 2001년에 생산된 제품의 윤활유 1호 및 3호에 대한 내유성은 인장강도 및 신장율 모두 기준값 이상이었다. 1999년에 제조된 4개사 시료 모두 윤활유 1호에 대한 내유시험 결과 인장강도가 약간 증가하였다. 그러나 2001년에 제조한 시료에서 B사의 경우 A, C 및 D사와는 달리 절연유 1종과 3종에 대한 내유시험 결과 인장강도가 감소하였다. 이는 기본수지에 nitrile 함량비가 타사에 비하여 적기 때문으로 사료된다. 윤활유 1호 및 3호로 시험한 시료의 인장강도 및 신장율은 B사의 시료를 제외하고 모두 윤활유 1호로 시험한 시료의 변화율이 더 크게 나타났다. 이는 저점도 윤활유인 3호가 NBR에 포함된 극성 nitrile과 상용성이 없어 잘 팽윤되지 않게 하기 때문으로 사료된다. A, B 및 C사 시료의 절연유에 대한 시험결과, A 및 B사 제품은 윤활유 1 및 3호의 기준에 만족하였으나 C사 제품은 인장강도가 43.7%, 신장율이 53% 감소하여, C사의 제품은 절연유에 내유성의 증가를 위하여 추가적인 조치가 필요한 것으로 사료되었다. D사 제품은 시료부족으로 시험을 실시하지 못하였다.

3.4 NBR packing의 내오존특성

4개사의 NBR packing에 대하여 오존폭로시간의 변화 및 신장변화에 대한 내오존성 시험을 실시하고, 그 결과를 Table 4에 나타내었다. 1999년에 제조된 시료는 A사를 제외한 3개사의 시료가 모두 오존폭로시험에 대하여 균열 및 시료의 파단이 발생하였다. 2001년에 제조된 시료 역시 A사는 양호하였고, B사는 개선되었으며, C사 및 D사는 내오존성에 대한 개선이 이루어지지 않은 것으로 나타났다.

A사 및 B사의 시편을 각각 20%씩 신장하여 고정하

Table 4. 1999년 및 2001년에 생산된 4개사 NBR packing의 내오존시험 결과

(A : 균열수 적음, B : 균열수 많음, C : 균열수 아주 많음

1 : 10배 확대경으로 확인, 2 : 육안확인, 3 : 1mm 미만, 4 : 1~3mm, 5 : 3mm 이상 또는 절단)

생산년도	시험 조건	A 사	B 사	C 사	D 사
1999년	20% 신장, 6시간	양호	A2	A1	A1
	20% 신장, 24시간	양호	A4	C2	B4
	20% 신장, 72시간	양호	B4	B4	B5
2001년	20% 신장, 24시간	양호	양호	C2	-
	20% 신장, 48시간	양호	양호	B4	-
	20% 신장, 72시간	양호	양호	B5	A5
	20% 신장, 96시간	양호	양호	B5	-
	20% 신장, 120시간	양호	양호	B5	-
	20% 신장, 168시간	양호	양호	C5	-
	30% 신장, 72시간	양호	양호	B5	-
	40% 신장, 72시간	양호	양호	B5	-
	50% 신장, 72시간	양호	양호	C5	-

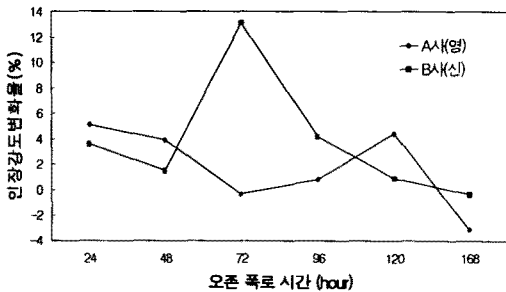


Figure 1. 20% 신장된 시료의 오존폭로시간 변화에 따른 인장강도 변화율

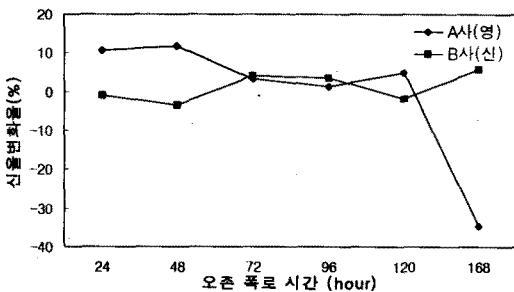


Figure 2. 20% 신장된 시료의 오존폭로시간 변화에 따른 신장율 변화율

고, 오존폭로시간을 24, 48, 72, 96, 120 및 168시간 동안 변화를 주어 오존시험을 실시하여 인장시험을 하고, 그 결과를 Figure 1 및 2에 나타내었다. A사 및 B사의 시료 모두 정량적인 결과를 얻지는 못했으나, 오존폭로시간의 증가에 따른 인장강도의 변화는 미미하였다. 신장율의 변화는 A사는 168시간에서 급격히 감소하는 반면, B사는 168시간이 경과한 후에도 여전히 초기신장율과 유사한 값을 나타내었다.

A사 및 B사의 시료를 각각 20, 30, 40 및 50%씩 신장하여 고정하고, 72시간동안 오존을 폭로한 후, 인장시험을 실시한 결과 A사의 시료는 50%로 신장하여 오존폭로시험한 경우 인장강도의 감소를 나타냈으나, B사의 시료는 초기 인장강도를 유지하였다. 신장율의 경

우 A사와 B사 모두 신장이 커질수록 신장율이 감소하였는데, A사의 경우는 50% 신장 시 급속히 감소하였고, B사의 경우 신장이 증가할수록 지속적으로 감소하였다.

4. 결 론

변압기의 절연열화 메커니즘을 보면 변압기 내로 수분이 침입하게 되면 절연지의 열화와 중합도의 감소현상이 초래되어 슬러지를 형성하고 결국 변압기의 절연강도를 저하시킨다. 절연유 및 절연지는 미량의 수분을 함유하고 있으며, 변압기 운전 중에도 수분을 흡수하게 된다. 따라서 완벽하게 수분을 제거할 수는 없지만 절연지를 가공하고 조립하는 과정에서 완전건조를 시켜야하며, 운전 중에도 최대한 기밀을 유지하여 습기의 침투를 막아야 한다. 그러나 변압기의 기밀유지를 위해 설치하는 가스켓이 심하게 열화 된다면 많은 양의 수분이 실링 부분으로 유입될 수 있기 때문에 변압기의 수명과 열화에 막대한 영향을 줄 수 있다.

시험결과를 보면 제품 제조사의 조건에 따라 물성 변화의 차이가 나타났다. A, B사의 경우 안정적인 결과를 나타내는 반면 C, D사의 경우 매 시험 시 오차가 많은 것은, 아직 확실한 제조 조건(배합비, 열처리 시간 등)이 정립되지 않았음을 보여 주고 있다. 또한 제조공장의 취약한 환경과 제조자의 전문지식이 부족한 것도 제품의 품질을 저하시키는 요인이라고 사료된다. 각 제조업체의 조성비 및 첨가제의 사용에 대하여는 기업의 기밀사항이므로 명시하지 않았다. 그러나 비교적 물성의 조절이 용이한 인장강도나 신장율에 대한 배합조성이나 첨가제에 관한 연구뿐만 아니라, 제조자는 내오존성이나 내유성 등 옥외사용 및 장기간 사용성을 고려하여 적합한 첨가제를 선정하고 그에 맞는 배합설계를 통하여 적합한 물성을 갖는 제품을 생산하기 위한 노력이 촉구되어야 하며, 또한 실제로 사용하고 있는 절연유에 대한 기준을 선정하여 절연유에 대한 내유시험을 추가하는것이 바람직하다고 사료된다.

(참 고 문 헌)

- [1] "O 링", KS B 2805, 1992
- [2] "가황고무 물리시험방법", KS M 6518, 1996
- [3] "Rubber deterioration-ozone level in laboratory chambers", ASTM D 4575
- [4] "Standard test methods for rubber O-rings", ASTM D 1414
- [5] "배전기자재 성능확인 특성시험 조사연구", 한국전력공사, 2000