

배전용 주상변압기의 가스켓 재질특성

노황래

김준오

조성수

한국전력공사 전력연구원

Material characteristics of acrylonitrile butadiene rubber in overhead-type distribution transformer

Roh Hwang - Nai, Kim Joon - Oh, Cho Seong - Soo
KEPRI

Abstract - 전국적으로 사용되고 있는 배전용 주상변압기가 '91~'98년 동안 배전선로 설비별 고장원인 중 점유율이 9.8%에 달하고 있어 이로 인한 불시 정전으로 고객의 피해와 민원이 발생하고, 전력회사의 신뢰를 실추시키고 있어 지속적으로 배전용 주상변압기의 품질 확보를 위한 노력이 요구되고 있다. 본 연구는 주상변압기에 사용되고 있는 가스켓에 대한 성능확인 시험을 실시하여 가스켓의 특성을 살펴보고 불량요인을 찾아내어 신뢰성이 높은 변압기가 제작 될 수 있도록 하고자 하는 내용이다.

1. 서 론

우리가 일상적으로 사용하고 있는 전기가 가정이나 회사, 공장까지 도달하기 위해서는 발전-송전-배전이라는 일련의 과정을 거치게 되는데 어느 한 부분이라도 취약성이 있을 경우 전기품질의 신뢰도에 나쁜 영향을 미치게 된다. 배전계통에서 배전 기자재로 인한 배전선로 고장은 '91~'98년까지 총 20,362건으로 '93년도 이전에 비해 '93년도에는 전기고장 통계방법의 개선으로 인하여 대폭적인 증가를 보였다가 점차 감소하여 '98년도에는 2,256건으로 감소하였다.

'91년부터 '98년까지 고장을 발생시킨 배전설비로서 전력선과 애자가 전체고장의 43.8%를 점유하고, 변압기류가 9.8%를 점유하고 있어 배전선로 고장의 중요원인으로 인식되고 있다. 총 배전설비 고장을 기준으로 할 때 배전용 변압기의 고장은 매년 급격히 감소되어 '71년도에 50.5% (2,946건)을 점유하던 것이 '91년도에는 11.2% (171건)로 급격한 감소율을 보였으나 '93년부터 고장통계방법 개선으로, '94년에는 이상고온 현상으로 자연열화 및 자연재해(풍우, 뇌격, 빙설해, 염전해)로 고장건수가 증가하여 11.4% (399건)을 나타냈으나 '96년 7.9% (229건), '97년 9.0% (202건), '98년 8.2% (185건)으로 점차 감소하고 있음을 알 수 있다.

본 연구에서는 배전계통의 주요 기자재중 하나인 주상변압기에서 애관과 변압기함과의 연결부, 함의 뚜껑등에서 변압기함 내부로 수분이나 이물질의 침투를 방지해 주는 역할을 하고 있는 가스켓의 재질특성에 관한 연구으로써 현재 한전의 구매 시방서에 명시되어 특성시험을 KSB 2805 (O-링)의 1종 A, 고정용 가스켓에 따라 시험하여 사용되고 있는 가스켓의 재질인 NBR(Acrylonitrile Butadiene Rubber)의 특성에 대해 알아보고 문제점에 대한 개선점을 도출하고자 한다.

2. 본 론

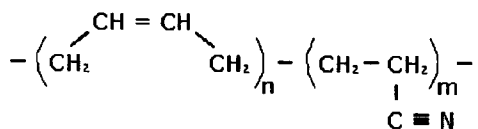
2.1 NBR의 특성

일반적으로 seal용 고무재질로서 요구되는 특성은 적당한 고무탄성과 기계적 강도를 갖을 것, 영구압축 뒤틀림이 작을 것, 기름·용제·약품 등 대상 유체에 건널 것, 내열성·내한성이 뛰어나고, 내마모성이 뛰어나고,

마찰계수가 작을 것 등이 있다. 이러한 고무의 최대장점은 외력을 가하면 거의 체적변화 없이 변형하고, 외력을 제거하면 단시간에 복원하는 탄성력을 들 수 있다. 이러한 성질은 고무분자가 자유롭게 회전운동을 할 수 있는 단량체(monomer)가 중합하여 실처럼 긴 고분자가 되고, 서로 적절한 결합을 하여 3차원의 망목구조를 만들기 때문이며 압축 복원력이 우수하므로 seal 재료로서 널리 사용되고 있고 천연 고무외에 수많은 합성고무가 있으며, 화학구조 별로 고유한 성질을 가지게 된다.

또한 고무에는 강도를 늘리기 위한 첨가제, 열화를 방지하는 노화방지제, 가교반응을 행하는 가류제나 촉진제, 가공상 필요한 보조제, 연화제, 가스제 등 많은 배합제가 혼합되며, 이들의 종류, 양 등에 의해서도 현저하게 특성이 달라지기 때문에, 각각의 사용조건에 가장 적절한 재질을 선정할 필요가 있다.

NBR은 니트릴 고무(nitrile rubber)라고 불리며, 아크리로나이트릴(acrylonitrile)과 브타디엔(butadiene)의 공중합물로서 아크리로나이트릴의 결합량은 15~50%사이 이고, 여러 가지 비율로 불규칙하게 공중합한 것이다. 이 고무의 최대장점은 아크리로나이트릴 중의 니트릴기-CN이 갖는 커다란 극성 때문에 매우 뛰어난 내유성을 갖는다는 것이다. 이 고무의 성질은 결합니트릴량에 의해 크게 다르게 나타나며, 결합니트릴량이 많아질수록 내유성은 좋게 나타난다. 또한 O링을 장시간 고온의 기름속에서 압축영구 뒤틀림을 측정한 결과, 매우 뛰어난 특성을 갖는 것으로 나타났으며, 체적변화율이 어느정도 팽윤하는 것은 체적이 감소하는 것보다 seal 성능이 우수할 것으로 추정된다.



[그림 2.1] NBR의 분자구조

이렇듯 니트릴고무는 내유성이 뛰어나기 때문에 산업 기계, 건설기계, 자동차, 항공기 등 모든 분야에서 윤활유나 작동유, 연료유 등의 seal에 O링, V패킹, 오일 실로써 적당하고 사용량도 매우 많다. 니트릴고무의 사용 가능 온도는 배합에 의해 크게 다르지만, 일반적으로 -50 ~ 120℃에서 사용할 수 있다. 또한 니트릴량이 많은 것은 내열성이나 기계적 성질이 좋을 뿐 아니라, 내가스 투과성이 뛰어나 진공용으로서 10 torr정도까지는 충분히 사용할 수 있는 것으로 나타났다.

2.2 가스켓의 열화원인

변압기에서 가스켓(NBR)이 설치되어 있는 부위는

(1)고압붓싱과 1차 인화선의 접속금구 사이, (2)고압붓싱과 외함뚜껑 접속부위, (3)외함과 외함뚜껑 접속부위, (4)저압붓싱의 내부 및 외부, (5)뿔 절환장치의 뚜껑과 외함사이에 설치되어 있으며, 이 부분들을 조사해본 결과 가스켓의 열화는 대기 중에 노출되는 부분인 고압붓싱과 외함뚜껑의 접속부위와 저압붓싱의 외부 접속부위에서만 발견되었다. 신품(99년 제품)의 경우에서도 외부로 노출된 고·저압붓싱용 가스켓에서 갈라짐 현상이 발견되었고(그림 2.2), 경년품(94~97년 제품)의 경우 고·저압붓싱의 내부 가스켓은 열화된 곳을 발견할 수 없었으나 외부 가스켓은 대기와 접하고 있는 바깥 면에서부터 심하게 열화되어 떨어져 나간 부위도 발견되고 있다(그림 2.3).



[그림 2.2] 신품변압기의 가스켓 갈라짐 현상



[그림 2.3] 경년품변압기의 가스켓 갈라짐 현상

따라서, 가스켓의 열화는 대기중의 오존과 자외선에 의한 영향으로 생각할 수 있으므로 오존과 자외선에 의한 영향을 평가하는 시험규격인 오존균열시험과 자외선 노출시험을 시행하였다. KSB 2805(O링)의 특성시험을 실시하기 위해서 NBR 시료를 변압기 제조업체로부터 별도로 제공받아 시험을 실시했다.

2.2.1 자외선 노출시험

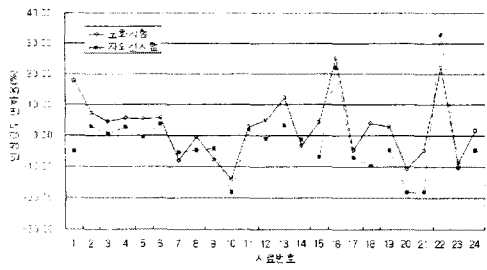
자외선 노출시험은 ASTM(American Society for Testing and Materials) G53의 시험규격으로 UV-B 램프에 500시간 동안 노출시킨 후, 표면 열화상태와 인장강도 및 연신율의 변화율을 측정하여 노화시험의 결과와 비교하여 보았다

표면의 열화상태 여부를 관찰하였을 때 현재 문제가 되고 있는 가스켓의 갈라짐 현상은 발견할 수 없었으며, 자외선 노출시험 후 인장강도 및 연신율의 변화율도 노화시험 결과에 비해 큰 변화는 없었다.([그림 2.4], [그림 2.5] 참조) 따라서 가스켓의 표면 열화형태 및 재질 특성 시험결과를 볼 때, 자외선에 의한 영향은 크게 없는 것으로 판명되었다.

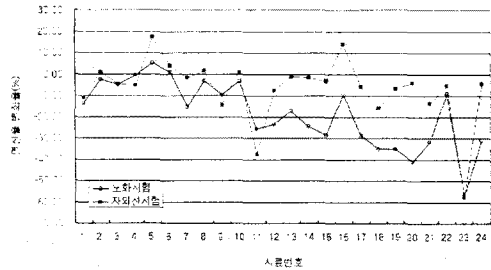
2.2.2 오존균열시험(KSM 6518)

가스켓의 갈라짐 현상은 KSB 2805(O링)의 특성 시험으로는 확인할 수 없었으므로 본 연구에서는 KSM 6518(가황고무 물리시험방법)의 15항인 오존균열시험을 통해 오존에 의한 영향을 시험하였다.

오존균열시험은 대기 중의 오존에 의한 가황고무의 열화정도를 추측하기 위해 실시하며, 인공적으로 발생시킨 저농도의 오존을 함유하는 공기 중에 시료를 신장시킨 상태에서 열화를 촉진시킴으로써 시료의 내오존성을 조



[그림 2.4] 노화시험 및 자외선 노출시험의 인장강도 변화율

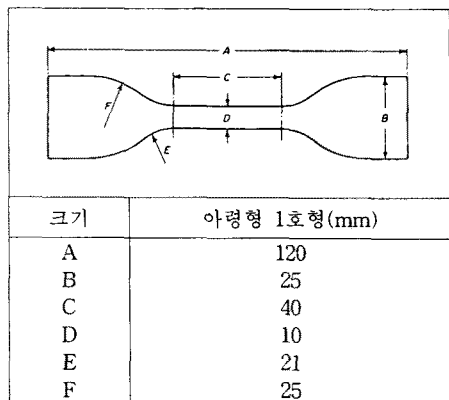


[그림 2.5] 노화시험 및 자외선 노출시험의 연신율 변화율

사하는 방법이다. 이때의 오존농도는 공기에 대한 부피비로 50 ± 5 pphm으로 하고 시험온도는 40°C , 폭로시간은 72시간으로 한 후 열화상태를 관찰하여 [표 2.1]와 같이 열화상태의 등급을 판정하였다.

[표 2.1] 가스켓 열화상태의 판정

균열 수	균열의 크기 및 깊이
A : 균열 수 적음	1 : 육안으로 보이지 않지만, 10배 확대경으로는 확인되는 것
B : 균열 수 많음	2 : 육안으로 확인되는 것
C : 균열 수 아주 많음	3 : 균열이 깊고 비교적 큰 것(1mm 미만)
	4 : 균열이 깊고 큰 것(1mm 이상 3mm 미만)
	5 : 3mm이상의 균열 또는 절단이 생기는 것



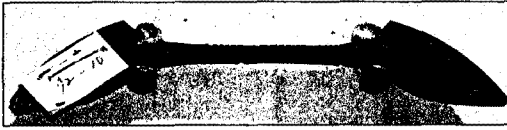
[그림 2.6] 오존균열시험을 위한 시험편

오존균열시험을 위한 시험편은 [그림 6.13]과 같은 아령형 1호형을 사용하여 20%의 신장을 준 상태에서 72시간 동안(40°C) 50pphm의 오존농도에 노출시킨 후 균열상태를 판정하였다.

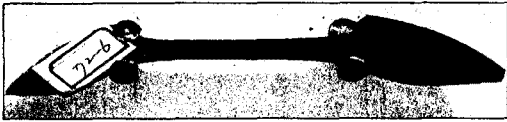
업체에서 제공한 NBR 시료를 가지고 시험한 결과, 24개 업체 중 2개업체의 시료에서만 균열이 발견되었으며, 다른 업체가 제공한 시료에서는 균열이 발견되지 않아 시료의 정확성을 가리기 위해 변압기에서 시료를 직접 발취하여 시편을 만들어 시험을 실시하여 보았다.

2.2.2.1 신품 변압기에서 수거한 시료

신품변압기의 가스켓에서도 갈라짐 현상이 발견되어 신품변압기의 고압 붓싱에 설치된 가스켓을 분리 수거하여 72시간 동안 오존균열시험을 시행하였으며, 시험결과 24개 업체의 시료 중 17개 업체의 시료(약 71%)에서 갈라짐이 발생했다



[그림 2.7]신품변압기 가스켓의 72시간 오존시험결과 불량



[그림 2.8]신품변압기 가스켓의 72시간 오존시험결과 양호

2.2.2.2 경년품 변압기에서 수거한 시료

경년품변압기 가스켓의 경우 갈라짐 현상이 심하게 나타나고 있었으나, 시험대상이 많아 13개 변압기를 선택하여 시험하였다. 저압붓싱에 설치되는 가스켓은 외함의 내·외부에 각각 1개씩 설치되므로, 시료도 저압붓싱의 가스켓을 내부와 외부로 나누어 수거하였으며, 오존균열시험은 기본적으로 외부 가스켓 중 비교적 양호한 것으로 시험하였고, 2개의 시료는 열화된 외부 가스켓과 비교하기 위해 내부 가스켓으로 시험을 실시하였다. 시험전 시료를 조사해본 결과 내부에 있는 가스켓은 모두 갈라짐 현상이 발생하지 않았다.

저압붓싱용 가스켓은 크기가 작기 때문에 시편을 가공하지 않고 완제품으로 시험하였다. 시험결과 13개 시료 중 1개업체(96년제조)의 외부 가스켓이 양호하였으며, 그 외 12개(내부 가스켓 2개 포함)의 가스켓은 모두 갈라지는 현상이 관찰되었다.

따라서 3년간 자연상태에서 열화된 외부 가스켓과 72시간 동안 오존균열 시험을 실시한 내부 가스켓을 비교하였는데 오존균열 시험을 실시한 가스켓이 3년간 자연상태에서 열화된 가스켓보다 조금 더 열화되기는 하였지만, 열화패턴이 거의 흡사하게 나타나고 있었다(그림 2.9).



좌 : 72시간 오존균열시험후의 저압붓싱용 내부 가스켓
우 : 자연상태에서 열화된 저압붓싱용 외부가스켓(96년 3월 제조)

[그림 2.9] 저압붓싱용 가스켓 열화상태 비교

2.3 가스켓의 열화 대책

자외선 노출시험과 오존균열시험을 수행한 결과, 오존에 의해 가스켓이 열화되고 있음이 밝혀졌으며, 가스켓 중에서 대기에 노출되지 않은 부분은 갈라짐과 같은 열화는 발생하지 않는 것으로 나타났다.

NBR 가스켓은 탁월한 내유성을 가지고 있으나 오존에는 강하지 못하므로 가능한 한 대기에 노출되지 않는 곳에서 사용하는 것이 바람직하며, 실제로 대기에 노출되는 부분인 고압붓싱과 외함뚜껑사이의 가스켓과 저압붓싱의 외부가스켓은 직접 절연유와 접촉하고 있지 않으므로 내유성보다는 오히려 내오존성이 우수한 재료를 사용하는 것이 보다 효과적일 것이며, 내오존성을 보장할 수 있는 각종 첨가제들이 있으므로 적절한 첨가제를 사용하면 오존에 의한 열화를 줄일 수 있을 것이다. 그러나 첨가제를 사용할 때는 첨가제에 의한 다른 영향을 반드시 고려해야 한다. 내오존성만 좋아지고 연신률 등이 나빠져 기밀유지를 제대로 하지 못한다면 악효과를 가져올 수 있기 때문이다. 아울러 NBR 가스켓을 가능하면 직접 외부에 노출되지 않도록 변압기의 외함과 가스켓의 크기를 조절한다면 가스켓의 열화방지에 큰 효과가 있을 것이다.

3. 결 론

본 연구를 통하여 가스켓의 열화원인 대책에 대해 언급한 것처럼 오존에 의한 가스켓의 균열을 방지하려면, 오존균열 방지제와 같은 첨가제를 사용하거나 내오존성이 좋은 고무재질을 사용하여야 한다. 그러나 이러한 특수고무의 제조방법은 기업비밀에 해당하므로 구매자가 그 제조법을 명시할 수는 없으며, 단지 완제품에 대한 요구성능을 제시할 수밖에 없다.

따라서, 오존균열시험 항목을 추가함으로써 변압기 제조업체에서 양질의 가스켓을 사용하도록 유도하는 것이 바람직할 것이다. 오존균열시험을 위한 시험편은 시험용 변압기에서 가스켓을 직접 발취하여 시험을 실시하고, 인정시험이 아닌 검수시험 항목에 추가하는 것이 타당할 것이며, 현재 자연상태에서 발생하고 있는 가스켓의 균열 이상상태를 확인하려면 적어도 72시간 이상 오존균열시험을 시행하여야만 가능할 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 노항래, 박창호, 김준오, 박상만, 조성수 "배전기자재(저손실형 주상변압기) 성능확인특성시험 조사연구", pp. 89~145, 2000
- [2] KSB 2805, 한국공업표준협회.
- [3] Test code for liquid-immersed distribution, power, and regulating transformers and guide for short-circuit testing of distribution and power transformers. ANSI/IEEE C57.12.90 1987
- [4] Overhead-type distribution transformers, 500kVA and smaller, ANSI/IEEE C57.12.20, 1988