

유입 변압기용 개스킷의 기밀성에 미치는 고무 물성의 영향에 관한 연구

소용신, 오세현, 김현수, 김대영, 윤중근
현대중공업 기술개발본부 산업기술연구소 재료연구실

A Study on the Physical Properties Evaluation of the Rubber for Oil-tight Gasket in the Transformer

Y. S. So, S. H. Oh, H. S. Kim, D. Y. Kim, J. G. Yoon

Material Research Department, Industrial Research Institute, R&D Division of HHI

서론

권선의 절연물에 습기나 먼지가 들어가면 변압기의 절연내력이 저하되므로 유입(油入) 변압기에는 권선과 철심을 탱크 안에 넣고 절연유를 충전한다. 또한, 이 절연유는 철심이나 권선에서 발생하는 열을 기름의 대류나 복사에 의하여 방열시키는 작용을 한다. 대용량 변압기는 방열을 돕기 위하여 탱크 외부에 기름을 순환시키는 파이프나 방열기를 설치하며, 이 보다 더 대용량인 변압기는 팬을 설치하여 방열을 돕기도 한다.

이처럼 변압기내에서 절연과 냉각이라는 중요한 역할을 하는 절연유는 각 부위별 플랜지에 체결된 고무 재질의 개스킷 물성에 의존하여 누유 여부가 결정된다. 본 연구는 변압기 플랜지의 개스킷으로 사용되는 NBR(acrylonitrile butadiene rubber) BI 707과 Cork-Nitrile 고무에 대한 물성 시험과 Marc 2001 상용 프로그램을 이용한 전산 해석으로 개스킷의 기밀성에 미치는 영향을 조사하고자 하였다.

시험재료 및 방법

D사에서 제조한 NBR BI 707과 S사에서 제조한 Cork-Nitril 고무 시편을 KS B 2805 O링 1종 A 규격에 따라 시험을 실시하였다. 내유시험은 절연유 분위기를 재현하기 위하여 KS C 2301 1종 4호에 해당하는 절연유를 사용하였다. 고온 조건에 대한 영향을 고찰하기 위하여 노화시험 온도는 120℃를 적용하였고, 시험 결과를 KS B 2805 O링 1종 A 및 KS M 6614 BI 707급 고무 패킹 품질규격과 비교하였다. 상온 인장시험, 노화시험 및 내유시험후의 인장시험, 압축시험 등의 시험속도는 공히 500 mm/min을 적용하였다.

시험결과 및 고찰

NBR BI 707과 Cork-Nitrile 고무를 평가하기 위하여, 보통 상태에서의 물성치와 노화 및 내유시험 후의 물성치를 상호 비교하였으며 이를 Table 1에 정리하였다. NBR BI 707 고무는 압축 영구 줄임률을 제외한 모든 항목에서 관련 품질규격을 만족하였으나, Cork-Nitrile 고무는 경도치와 노화 시험 및 내유 시험에서의 경도 변화, 저온 굽힘 시험, 부식 및 점착시험을 제외한 모든 항목에서 부적합한 것으로 나타났다. 특히, 개스킷의 체결력에 영향을 주는 압축 영구 줄임률 항목은 120℃의 시험 온도 조건에서 두 시료 모두 부적합한 것으로 나타났다.

상온 인장시험에서 얻어진 각 재료의 Strain-Stress 곡선은 Fig. 1과 같다. 3회에 걸친 파단시험에서 NBR BI 707과 Cork-Nitrile은 각각 평균 348%와 67%의 연신율에서 파단이 일어났으며, 각각 탄성 및 소성 변형 거동을 보였다. 이러한 파단점과 탄성 거동의 차이는 탄성체의 고유 물성이 Cork와 같은 이물질의 혼합에 의하여 변화되었음을 의미한다.

노화 시험 후, 두 재료의 파단은 NBR BI 707이 평균 66%, Cork-Nitrile은 평균 59%에서 발생하였다. 즉, 두 시료 모두 120℃의 노화시험 조건에서 열화가 심하였으며, 특히 Cork-Nitrile의 인장강도 변화율은 관련 규격을 크게 벗어났다. 이로써 Nitrile 고무를 사

용 온도 범위가 최대 110℃로 알려져 있으며, 본 연구 결과 Cork 첨가 고무 재질은 Nitrile 고무에 비하여 더욱 열에 취약함을 확인할 수 있었다. 따라서, 개스킷 재질로 내열성만을 감안한다면, HNBR이나 실리콘 고무, 불소 고무 등의 재질이 추천된다.

Table 1 Characteristics of NBR B I 707 and Cork-Nitrile rubber

Test item and condition		NBR B I 707 plate	Cork-Nitrile plate	KS B 2805 O-ring 1st class A	KS M 6614 B type I 707 rubber packing
Hardness (Hs)		75	73	70±5	70±5
Tensile strength (MPa)		13.0	3.4	> 9.8	> 6.86
Elongation (%)		348	67	> 250	> 250
Aging test (120℃, 70hr)	Change of hardness (Hs)	10	2	< 10 (120℃, 70hr)	< 10 (100℃, 70hr)
	Change of T. S. (%)	-33.3	27.2	< -15 (120℃, 70hr)	< -15 (100℃, 70hr)
Compression set (%) (120℃, 70hr)		78	80	< 40 (120℃, 70hr)	< 50 (100℃, 70hr)
Oil resistance test (KS C 2301 1st class No.4 insulating oil, 120℃, 70hr)	Change of Hardness (Hs)	-1	-2	-5 ~ +8 (120℃, 70hr)	-5 ~ +10 (No.1 oil, 100℃, 70hr)
	Change of T. S. (%)	-47.3	11.4	< -15 (120℃, 70hr)	< -30 (No.1 oil, 100℃, 70hr)
Bending test at a low temp. (-30 ~ -35℃, 5hr)		Normal	Normal	No crack	-
Corrosion and tack test (70±1℃, 24hr)		Normal	Normal	No corrosion and tack to the metal	-

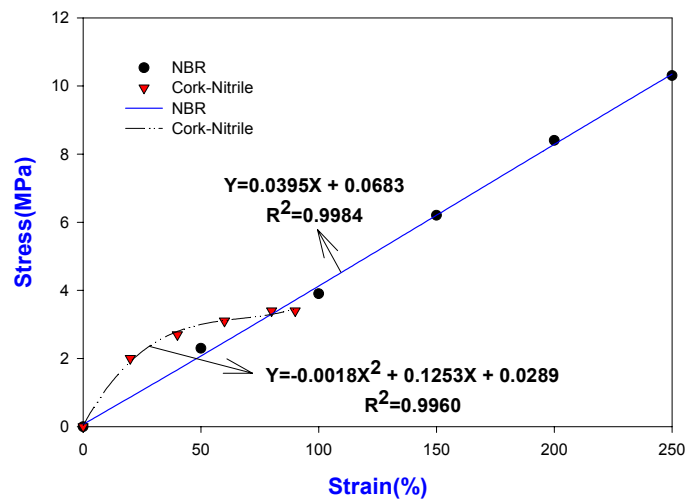


Fig. 1 Typical Stress-Strain curve at a room temperature

KS C 2301 1종 4호에 해당하는 120℃ 광유계 절연유에 침지하여 72시간 동안 실시한 내유 시험 결과, NBR B I 707과 Cork-Nitrile 고무를 각각 평균 97%, 67%의 연신율에서 일어났다. Fig. 2에서 보는 바와 같이, 내유시험 후의 물성은 NBR B I 707과 Cork-Nitrile 모두 저하되기는 하였지만, NBR B I 707은 관련 품질규격을 만족한 반면, Cork-Nitrile은 인장강도 변화율이 극심하여 품질규격을 만족하지 못한 것으로 나타났다. 이는 NBR이 광유계 오일 성분에는 탁월한 내유성을 가지나 고온에 노출되어 열화됨에

따라 상대적으로 니트릴 고무 함량이 적은 Cork-Nitrile에서 인장강도 변화율 등의 현격한 물성 저하가 나타난 것으로 판단된다.

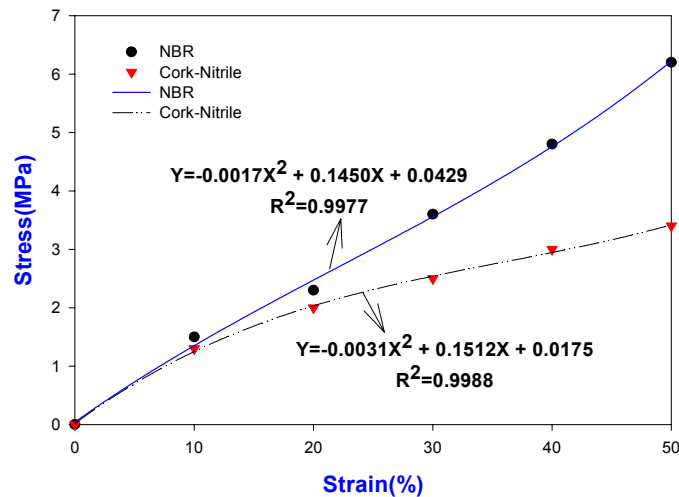


Fig. 2 Stress-Strain curve in the oil resistance test

상온 압축시험을 실시한 결과, NBR BI 707이 동일한 압축 strain인 경우, 전반적으로 Cork-Nitrile에 비하여 높은 압축강도를 가지는 것으로 나타났다. 이는 Fig. 3에 나타낸 바와 같이, Cork-Nitrile 고무에 충전된 Cork의 목질부가 다공질의 지방산 중합체로 이루어져 있어 인장과 압축에 따라 점탄성을 띄는 고무와 물성이 다를 수 있음을 시사해 주고 있다.

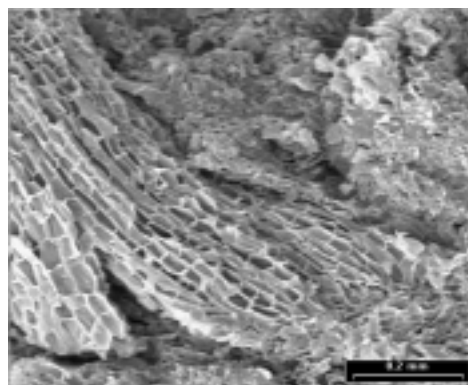


Fig. 3 Morphology of the Cork-Nitrile rubber ($\times 100$)

해석상의 편의를 위하여 Fig. 4와 같이 해석 모델의 1/24만을 모델링하였으며, symmetric 구속 조건을 사용하여 해석을 실시하였다. 변압기 flange 연결부에 작용하는 하중은 볼트의 tightening torque, 내부 압력 1 bar, 온도 110 °C가 작용하고 있으며, 해석 시 볼트의 정확한 tightening torque를 모르기 때문에 trial and error 방식으로 적정 tightening force를 구하였다. 해석 결과, 적정 체결력으로 나타난 2335.5 N으로 볼트 체결시 flange와 접촉하는 개스킷 상단의 전체 폭 방향에 걸쳐 압축 응력이 작용하였으며, 양단에서 높고 중심부에서 다소 작은 값을 보였다. 체결력만 작용하는 경우 체결력, 내압

및 온도가 동시에 작용하는 경우에 대한 개스킷 상단의 압축 응력 분포를 Fig. 5에 나타내었다. 체결력 2355.5 N, 내압 1 bar, 온도 110 °C가 각각의 개스킷에 작용하는 경우, 두 종류 모두 누설(leak)은 발생하지 않으며, NBR B I 707에 비하여 상대적으로 Cork-Nitrile의 stiffness가 더 커서 변형 및 응력이 작게 작용됨을 알 수 있었다.

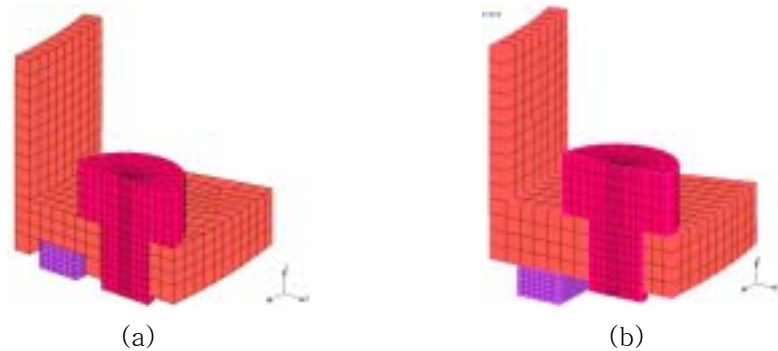


Fig. 4 Gasket analysis model (a) NBR B I 707, (b) Cork-Nitrile

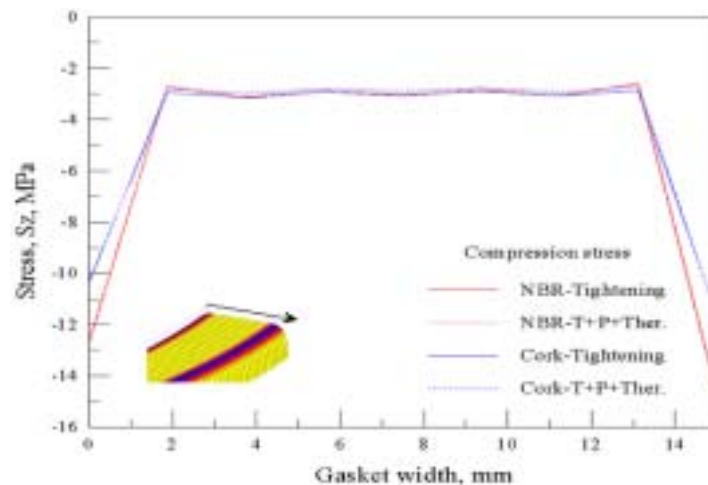


Fig. 5 Compressive stress at the upper face, MPa

결론

1. NBR B I 707이 일반시험, 노화시험, 내유시험 등 모든 항목에서 Cork-Nitrile 고무에 비하여 우수한 특성을 나타내었다. 120°C의 노화온도 조건에서 NBR B I 707과 Cork-Nitrile 고무가 체결력에 영향을 주는 압축 영구 줄임을 항목에서 모두 부적합한 것으로 나타났다.
2. 체결력 1355.5 N, 내압 1 bar, 온도 110 °C가 각각의 개스킷에 작용하는 경우, 절연유의 누설이 발생하지 않는 것으로 나타났으며, Cork-Nitrile의 stiffness가 높아 변형 및 응력이 작게 작용하였다.

참고문헌

1. 社)日本ゴム協會編, “ゴム工業便覽 第四版”, 社)日本ゴム協會 (1994)
2. Mamoru Ochi, Seiji Hato, and Takeji Abe, JSME INT J SER 1, Vol. 35, No. 4, 404 (1992)
3. 유기탄성체학회, “고무과학과 기술”, 미래컴 (2001)