

표준형 주상변압기의 재료에 대한 성능평가기술

소진중*, 심대섭, 이기택
한국전기연구원

Assessment of material analysis for standard type pole transformers

Jin Joong Soh*, Dae Sup Shim, Ki Taek Lee
KERI

Abstract - 22.9MVA 3상 4선식 다중접지 배전계통에 사용하는 단상의 표준형 주상변압기의 규격이 2003. 03에 제정되었다. 표준형 주상변압기는 기존의 일반형, 저손실형, tap형, tapless형, 내열형 등의 다양한 종류의 제품을 기준치와 구조를 통일하여 표준화된 규격이다.

표준형 주상변압기에 사용하는 재료의 평가는 외함, 접지단자, 압착단자, 개스킷, 절연유, 붓싱단자, 애자의 흡습, 및 기타시험을 실시하며, 평가시험은 한전규격, KS 및 IEEE 등의 국제 표준규격을 기본으로 평가를 하여야 한다.

본 평가기술에서는 재료시험에 대한 시험방법을 검토하고 시험에 적용하여 시험 시 문제점을 도출하고 시험방법을 정립하여 주요업체의 재료에 대한 비교평가하고자 한다.

1. 평가시험

1.1 외함 시험

외함에 사용하는 강판은 방열기와 방열기를 제외한 부분으로 구분을 하며, 표면에 분체도장을 한다.

방열기는 KS D 3512(냉간압연 강판 및 강대)의 SPCC(두께 1.2mm 이상), 방열기를 제외한 부분은 KS D 3501(열간압연 연강판 및 강대)의 SPHC(두께 2.3mm 이상) 또는 이와 기계적 성질 및 화학성분이 동등 이상이어야 하며, 표면에 기름기 등이 없는 상태에서 녹, 이물질 등을 완전히 제거, 세정한 후, 외장용 분체도료로 전체면에 60µm 이상의 도막이 형성되도록 도장하여야 하며, 코너 부위 등에 비도장된 부분이 없어야 한다.

외함은 화학성분, 기계적 특성 및 도장막시험을 실시한다.

1.1.1 화학성분 시험

화학성분 분석시험은 ICP(Inductively Coupled Plasma Spectrometer), Emission spectrometer 및 C-S 분석기를 이용하여 분석시험을 한다.

ICP의 원리는 플라즈마 방출분광법이란 고주파 유도 결합 플라즈마를 광원으로 하여 고온(6000K 이상)의 argon plasma로 원자를 들뜨게 하여 이때 방출되는 빛을 분광하고 광전 증배관에서 검출하여 각 원소를 정성 및 정량 분석한다. 이용분야는 금속 및 합금의 조성분석, 전선 피복, 고무 및 폴리머 등의 함유된 무기금속 성분분석, 용수, 음용수 및 오폐수 중의 중금속 등을 분석하는 장비이다.

Emission spectrometer는 시료를 태워 이때 나오는 기체의 파장으로 정성 및 정량분석을 하며 분석 대상은 도전성이 있는 모든 고체물질들을 분석하며, 분석방법은 표준물질로 검량선을 그린 후에 미지시료를 분석한다. 시료크기는 10 ~ 50mm로서 분석시간은 검량선이 그려진 상태에서 시료를 특별한 전 처리 없이 짧은 시간에 분석할 수 있으며 ppm 단위까지 분석 가능하고, Ar 가스의 밀봉으로 오염이 없어 감도가 좋다

1.1.2 기계적특 시험

인장시험은 크기 및 형상이 결정된 시험편을 점차적으로 하중을 가하며 파괴가 일어날 때까지 잡아당겨 원하는 물성 값을 얻는 시험으로서, 인장시험편은 KS B 0801(금속재료인장 시험편)의 5호시험편으로서 압연방향으로 제작한다. 굽힘시험은 굽힘으로 소성변형이 되는 금속재료의 능력을 측정하는 방법으로 제품에서 채취한 시험편을 사용한다. 원형, 정사각형, 직사각형 또는 다각형 단면의 시험편을 하중방향의 변화없이 규정된 각도까지 굽히는 시험으로 시험편 양 끝의 측은 굽힘 측에 수직이어야 한다. 굽힘시험은 KS B 0804에 따르며, 폭 30mm, 길이 300mm, 두께는 원래 제품의 두께의 압연방향으로 제작한 시험편으로 시험한다. 시험 후 육안으로 균열이 보이지 않을 경우 이상이 없는 것으로 간주한다.

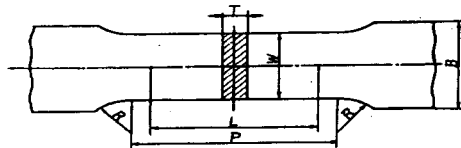


그림 5

| 나비 W | 표장 거리 L | 평행부의 길이 P | 어깨부의 반지름 R | 부재 T |
|------|---------|-----------|------------|---------|
| 25 | 50 | 약 60 | 15 이상 | 원래 부재대로 |

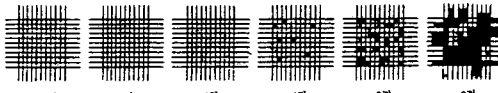
비고 이 시험편은 판 부재가 3mm 이하인 박판에 사용하는 경우에는 어깨부의 반지름 R=20~30mm, 윗면부의 나비 B≥30mm로 한다.

그림 1 인장시험편

1.1.3 도장막 시험

도장막은 밀착성 시험과 두께 측정을 실시한다. 밀착성은 외함의 3개소를 선정하여 KS M 5981에 의하여 평가점수가 8이상이어야 하며, 두께측정은 도장막 측정기를 사용하여 몸체의 서로 다른 부위에서 4개소, 뚜껑 부위에서 2개소를 측정하여, 그 평균값이 규정값 이상이어야 하고, 개별 측정값은 어느 부위에 있어서도 규정값의 80% 이상이어야 한다.

밀착성 시험은 KS M 5981에 따라 절단용 칼로서 시험편의 거의 중앙에 직교하는 가로·세로 각 11개의 평행선을 1mm 간격으로 그고, 1시간에 100개의 네모난 동금이 되도록 바둑판 모양의 선을 긋는다. 칼날의 앞 끝을 도장면에 대하여 35-45° 범위의 일정 각도로 유지하며, 시험판 바닥에 닿도록 약 0.5초의 동일한 속도로 긋는다.



비고 검은 부분은 결합 부분을 나타낸다.

그림 2 도장시험 평가의 보기

1.2 접지단자 시험

접지단자는 PG 클램프(clamp)형 혹은 아이볼트형으로 서 KS D 6024(동 및 동합금 주물)의 청동주물 2종(CAC 402), KS D 5101(동 및 동합금 봉)의 C3771(단조용 황동) 또는 이와 동등이상의 것을, 볼트, 너트 및 스프링 와서는 KS D 6024의 실루진 청동주물 2종 (CAC 802), 3종(CAC 803) 또는 KS D 3706(스테인리스 강봉)의 STS 304(주석도금 제외)를 각각 사용하고 주석도금을 한다. 접지단자는 화학성분 및 조임시험을 실시한다.

화학성분시험은 외함시험과 같은 방법으로 시험하였으며, 조임시험은 접지단자에 22mm의 적용전선을 삽입하고 300kgf·mm으로 조일 때 단자에 변형이나 볼트 및 너트에 이상이 없어야 한다. 청동주물 2종은 내압성, 내마모성, 내식성이 좋고, 기계적 성질도 좋다. 실루진 청동주물은 용탕 흐름이 좋고, 강도가 높으며 내식성이 좋다.

1.3 압착단자 시험

압착단자는 KS C 2620에 따르며, 시험항목으로는 길모양, 도금, 압착접속성, 온도, 히트 사이클, 전기저항, 염수분무, 과전류 내력, 인장강도, 진동 피로, 절연저항, 내전압, 내노화, 절연체 고정도, 난연성, 내유성, 복원성 및 저온 압착 접속성시험이 있으며, 재료시험으로는 염수분무, 주석도금 두께 측정 및 도체의 재질시험을 실시한다. 염수분무 시험은 8시간 분무, 16시간 방치하는 것을 3회 반복한 후 전기저항을 측정하며, 도금 두께 측정은 시편을 마운팅하고 연마하여 현미경으로 측정하며, 화학성분은 외함시험과 같은 방법으로 한다.

1.4 개스킷 시험

변압기에 사용되는 개스킷은 Nitrile계 고무인 Acrylonitrile Butadiene Rubber(NBR) 또는 동등이상의 재질을 사용하도록 한전규격에 명시되어 있으며, 특성시험은 KS B 2805 및 KS M 6518에 따른다. Nitrile계 고무를 사용하는 이유는 개스킷이 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 개스킷이며, 1차 붓싱연결부, 2차 붓싱연결부 등 취약한 부위에 주로 사용된다. 개스킷이 갈라질 경우 변압기 내부로 수분이 침투해 변압기의 수명에 치명적인 영향을 주게 된다. 개스킷 시험은 상온인장, 가열노화, 내유, 저온굽힘, 부식 및 점착, 오존균열시험을 실시한다.

1.4.1 상온인장 시험

상온인장시험은 제품에서 시편의 발체가 불가능할 경우 제품과 같은 조건으로 제조된 시편을 판재로부터 아령모양 3호형을 채취하여 KS M 6518의 가황고무 물리 시험법에 따라 측정한다. 시험기의 하중보정은 시험 시마다 실시하며, 인장속도 500±25mm/min, 신율거리 20mm로 하여 파단 시의 인장강도 및 신율을 측정한다. 시험편의 인장강도 및 신율은 측정값이 큰 것부터 차례로 S₁≥S₂≥S₃≥S₄로 하여 다음의 식에 의하여 계산한다.

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

1.4.2 가열노화 시험

가열노화시험은 상온시험과 같은 시편을 120℃에서 70시간동안 항온조에서 노화시킨 후, 꺼내어 실온에 16-96시간 동안 방치하여 상온인장시험과 같은 방법으로 인장강도 및 신장율을 측정한다. 가열노화시험의 인장강도 및 신장율 계산은 다음의 식에 의하여 계산한다.

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

$$A_C = A_R - 100$$

여기서,

A_R: 가열전 인장강도 및 신장율에 대한 가열후의 잔류율(%)

A_C: 가열전 인장강도 및 신장율에 대한 가열후의 변화율(%)

S₁₁, S₁₂, S₁₃, S₁₄: 가열전 인장강도 및 신장율 측정값의 크기순서

S₂₁, S₂₂, S₂₃, S₂₄: 가열후 인장강도 및 신장율 측정값의 크기순서

1.4.3 내유 시험

내유시험은 상온시험과 같은 시편을 KS M 6518의 표4의 윤활유 1종, 3종의 시험용 기름에 침지하여 120℃에서 70시간동안 가열하고 실온에 16-96시간동안 방치하여 가열노화시험과 같은 방법으로 인장강도 및 신장율을 측정한다.

1.4.4 오존균열 시험

오존시험은 대기중의 오존에 의한 가황고무의 열화를 추측하기 위한 시험으로서, 인공적으로 발생시킨 저농도의 오존을 함유하는 공기 중에 신장 시험편을 폭로하여 열화를 촉진시켜 내오존성을 조사하는 시험으로서, 50±5pphm의 오존을 함유하는 공기중에 20% 신장시킨 시험편을 40℃에서 72 시간동안 오존에 폭로한다. 시험편은 원칙적으로 길이 약 60mm, 나비 약 10mm, 두께 약 2mm의 표면이 평활한 직사각형인 것, 또는 아령형 1호형 시험편을 사용한다.

1.5 절연유 시험

절연유에는 식물성유·동물성유·천연광유·합성유 등이 있으나, 이 중 동물성유는 사용되지 않고 있다. 식물성유는 보편화 되지 않았으며, 현재 주로 사용되고 있는 것은 천연광유와 합성유이다.

변압기유 중에 포함되어 있는 산, 알칼리, 황(S) 등은 변압기유의 절연내력에 나쁜 영향을 미칠 뿐만 아니라, 다른 절연물 및 금속도 열화 시키므로 이들은 당연히 제거되어야 한다. 그러나 이들 불순물 이외에 유중에는 먼지, 수분, 흡장가스 등의 불순물이 포함되어 있는 일이 많고, 이들이 변압기유의 절연내력에 상당한 영향을 미치므로 절연유의 절연과정에 관한 문제는 그 자체의 파괴에 관한 문제보다 오히려 절연유 자체의 절연과제전압을 저하시키는 것은 무엇이나 하는 것을 구명하는 데 있다. 따라서 절연유의 절연과제를 논하는 경우에는 먼지, 수분, 가스등이 유중에 혼입되어 있는 모양, 그 정도 및 이들이 파괴전압에 미치는 영향 등을 고찰해야 한다.

변압기에 사용되고 있는 일반 광유의 특성은 절연과제전압이 높고 체적저항률이 높을 것을 요구한다. 또 점도가 낮아 냉각성능에 우수한 점, 산화안정성, 열 안정성이 좋은 것도 조건으로 된다. KSC 2301-1985는 첨가제를 함유하지 않은 절연유에 대하여 규정하였으나, KSC 2301-1994에서는 절연유의 특성을 개선할 목적으로 소량 첨가하는 것으로 규정하였다. 절연유는 나프탈렌계유가 주로 사용되었으나, 최근에는 알킬벤젠 등의 합성 절연유의 개발이 진행되어 KSC 2301-1994에 7종으로 규격화되었다. 알킬벤젠은 유동점, H₂가스 흡수성, 유전정점, 절연과제전압 등에 있어서 우수한 특성을 가지고 있으며, 광유와 혼합하여도 특성이 좋을을 나타내고 있다. 절연유는 폴리염화비페닐(Poly Chlorinated Biphenyl:PCB)이 함유되지 않은 것으로 KS C 2301의 1종(광유) 2호 및 ES 246에 적합한 것, 난연성 절연유로서는 KS C 2301의 6종(실리콘유), IEEE Std C57.121 또는 IEC 1099에 적합함을 사용하여야 한다.

1.5.1 절연유의 특성과 시험항목

변압기에 사용되고 있는 절연유에 대해서 관리해야 할 가장 중요한 특성은 절연과제전압이다. 절연유의 절연과

괴전압은 절연유중의 수분에 크게 좌우된다. 절연유는 장기사용으로 인해서 열화물이 생성된다. 이로 인해서 절연유의 전산가, 체적저항률 등의 특성이 변한다. 유전 정전도 절연유의 열화정도를 전기적인 특성으로서 평가된다고 생각하고 있지만, 아직 이론적으로 명확치 않음으로 지침에는 체적저항률을 보수관리상 특성으로 취급했다. 이밖에 절연유의 색깔, 냄새 등도 간단하게 눈, 코로 측정할 수 있는 방법으로서 간과할 수 없는 관리항목 중의 하나라고 생각된다. 변압기에 사용하는 절연유에 대해 관리하지 않으면 안되는 특성항목은 수분, 절연파괴전압, 체적저항률, 전산가, 색깔, 냄새 등이 있다.

1.5.2 시험항목

가. 수분

절연유중에 함유하고 있는 수분이 증가하면 절연파괴전압은 낮아지고, 절연지의 열화도 진전된다. 따라서 절연유의 수입, 보관, 충전, 밀폐, 또는 운전개시후 등에서 수분관리가 필요하다. 수분은 절연유를 변압기에 충전하는 경우 탈수 처리에 의해 한계치 이하로 되어있는 것이 보통이다. 운전 개시 후 이 수치 이상의 증가가 있다고 하면 그것은 변압기의 외부로부터 혼입하는 경우로서 변압기내에 사용되고 있는 절연지와 절연유간의 수분온도 평형관계에 기인하는 경우가 많다.

나. 절연파괴전압

절연유의 절연파괴전압은 그 절연유가 전계하에서 사용될 수 있는지 아닌 지의 절연성 적합성을 판정하는 중요한 시험항목이다. 이 절연파괴전압은 특히 수분, 먼지 등의 영향을 받기 쉽고 수분의 존재 하에서 절연유의 열화물에 의해서도 영향을 받게 된다. 그래서 절연파괴전압이 낮아지는 것은 절연유의 절연성의 저하를 의미하고 변압기의 절연파괴 사고에 직접 관련된다고 생각된다. 이런 까닭에 절연파괴전압의 저하의 유무를 항상 감시하는 것이 필요하다.

다. 체적저항률

절연유의 열화 정도를 전기적으로 평가하는 시험방법으로서 체적저항률이 있다. 이 체적저항률은 변압기의 권선-대지간의 절연저항치와 직접 상관이 있다. 체적저항률은 절연유의 온도상승에 따라 저하되고 절연유중에 용해되어 있는 수분, 열화물 등의 존재에 관계된다.

라. 전산가

절연유의 열화는 변압기내의 산소, 수분 및 동등의 금속의 존재 하에 생긴다. 이 열화정도는 유기산의 전량으로서 화학적으로 정량하여 구한 전산가로서 평가된다.

마. 색깔, 냄새

색깔, 냄새는 절연유 및 절연지의 열화물에서 생긴다. 열화의 정도가 심해지게 되면, 색은 담황색에서 갈색으로 되고, 냄새는 쉰 냄새가 난다. 색깔을 보거나 냄새를 이용하는 것은 감각적이어서 객관성이 없지만, 시료 채취시 행하는 간단한 방법으로 절연유의 열화정도를 알아보기엔 적당하다.

바. 비중

조성을 구분하는데 이용된다.

사. 동점도

냉각작용과 함침작용(케이블, 변압기내 절연지 등)에 관계가 있으므로 비교적 낮은 점 도를 요구한다.

아. 유동점

유동성을 측정하는 것으로서 절연유를 사용하는 기기들이 한냉지방이나, 동절기의 저온시 절연유가 굳어 부동물질이 되므로 서 절연유의 고유 기능인 냉각기능을

상실하게 하는 것을 방지하여야 하므로 낮을수록 좋다.

자. 인화점

부하 중에 발생하는 열 또는 온도상승시 발생되는 가스가 전기적 쇼크, 임펄스나 단락, 기타 화염에 의해 발생하는 불꽃 등에 의하여 화재나 폭발할 경우에 대비하여 화재의 위험을 줄이고자 하는 시험으로서 사용중이거나 저장중에 화재 위험성을 판정하는 자료가 되기에 일정한 인화점이 요구된다.

차. 증발량

부하중 온도상승시 절연유의 증발하는 양을 측정하는 시험으로서 증발한 가스에 의한 화재의 위험과 증발량이 많아지면 밀폐된 기기 내에 압력이 발생하여 폭발하거나, 접속 부 등의 틈을 만들어 누유나 공기혼입등 여러 가지 부작용을 발생시킬 수 있으므로 증발량이 적은 것이 요구된다.

카. 반응시험

절연유 내의 산이나 알칼리성의 유무를 측정하는 시험으로서 산화안정성, 동제품의 부식을 막기 위하여 중성이 요구된다.

타. 부식성 유황

절연유 속에는 금속과 비교적 반응하기 쉬운 유황화합물이 포함되어 있는데 이것을 부식성 유황이라고 한다. 부식성 유황이 많으면 기기내의 동, 은 등의 표면을 부식시키는 결과를 가져온다

1.6 붓싱 시험

붓싱시험은 단자시험과 흡습시험을 실시한다. 붓싱단자 시험은 특고압붓싱과 저압붓싱 클램프단자의 화학성분 및 토크시험을 실시한다.

클램프 단자는 KS D 6024(동 및 동합금 주물)의 청동주물 2종(CAC 402) 또는 KS D 5101(동 및 동합금 붓)의 C3771(단조용 황동)인 재질을 사용하여야 하며, 클램프 볼트, 너트 및 스프링와사는 KS D 6024의 실루진 청동주물 2종(CAC 802), 3종(CAC 803) 또는 KS D 3706의 STS 304인 재질을 사용하여야 하며, 토크시험은 규정에 따라 클램프에 적용전선을 삽입하고, 해당 조임력으로 조일 때 클램프의 변형이나 볼트, 너트에 이상이 없어야 한다.

붓싱의 흡습시험은 ES 131의 11항에 따르며, 특고압 붓싱에만 해당한다. 애자를 구성하는 자기에 파쇄면을 가진 파편(약 6.3 μ ~ 19 μ)을 사용한다. 이 공시파편의 표면적이 적어도 75%는 유약 또는 다른 표면처리를 받지 아니한 것으로 한다. 시험액으로는 메틸알코올 100에 대하여 흑신 약 1의 비율로 용해한 것으로 한다. 시험방법으로는 시료를 시험액 중에 완전히 담궈고 상온에서 153 kg/cm^2 (15 x 10⁶N/ m^2) 이상의 압력을 가한채로 12시간 이상 방치한 후 이것을 꺼내어 파쇄하여 그 파쇄면에 액의 침투여부를 조사한다.

1.7 기타 재료 시험

기타 시험은 내후성, 내트래킹, 난연성 시험이 있다. 내후성 시험은 ASTM G53(Fluorescent UV Method)에 의하여 1,000시간 시험 후 표면에 깊이 1 μ 이상의 균열이 없어야 한다.

내트래킹 시험은 AC 60 Hz 4.5 kV 의 전압을 6시간 인가하여 시험하며, 시험방법은 IEC 60587 시험1의 방법에 따른다.

난연성 시험은 IEC 60707의 FV방법으로 시행하되 시험결과는 FV 0급에 적하하여야 한다.

2. 평가시험 결과 및 검토

2.1 외함 시험 결과

화학성분시험은 시료의 표면을 연마한 후 Emission 및 C-S 분석기를 이용하여 분석하였으며, 인장강도 및 연신율시험 5호시험편 3개를 시험하여 평균값을 선택하였다. 시험결과 방열기를 제외한 부분은 화학성분 및 기계적성질 시험을 실시한 결과 KS D 3501의 SPHC에 해당하며, 방열기는 화학성분 및 기계적성질 시험을 실시한 결과 KS D 3512의 SPCC에 해당하므로 양호하였다.

| 구분 | 시험항목 | 시험기준 | 시험결과 | | |
|-------------|--------|------------------------------------|---------|-------|-------|
| | | | A 사 | B 사 | C 사 |
| 방열기를 제외한 부분 | C (%) | 0.15 이하 | 0.061 | 0.031 | 0.089 |
| | Mn (%) | 0.60 이하 | 0.242 | 0.224 | 0.221 |
| | P (%) | 0.050 이하 | 0.011 | 0.017 | 0.011 |
| | S (%) | 0.050 이하 | 0.011 | 0.007 | 0.010 |
| | 인장강도 | 270 N/mm ² 이상 | 372.8 | 372.9 | 344.8 |
| | 연신율 | 29 이상 | 30.1 | 36.1 | 29.8 |
| | 굽힘성 | 180° 필착 | 이상없음 | 이상없음 | 이상없음 |
| | 밀착성 | KS M 5981(2001)에 따르면, 평가점수 8 이상일 것 | 8 이상 | 8 이상 | 8 이상 |
| | 도장두께 | 60μ 이상 | 126 | 115 | 128 |
| | 방열기 | C (%) | 0.15 이하 | 0.010 | 0.001 |
| | Mn (%) | 0.60 이하 | 0.103 | 0.101 | 0.215 |
| | P (%) | 0.050 이하 | 0.015 | 0.012 | 0.010 |
| | S (%) | 0.050 이하 | 0.008 | 0.005 | 0.008 |
| | 인장강도 | 270 N/mm ² 이상 | 381.8 | 375.2 | 328.7 |
| | 연신율 | 37 이상 | 43.6 | 40.4 | 43.5 |
| | 굽힘성 | 180° 필착 | 이상없음 | 이상없음 | 이상없음 |
| | 밀착성 | KS M 5981(2001)에 따르면, 평가점수 8 이상일 것 | 8 이상 | 8 이상 | 8 이상 |
| | 도장두께 | 60μ 이상 | 119 | 135 | 120 |

2.2 접지단자 및 붓싱단자 시험 결과

화학성분시험은 외함시험과 같이 시료의 표면을 연마한 후 Emission 및 C-S 분석기를 이용하여 분석한 결과 본체는 완제품으로서 시험 가능한 화학성분 시험결과 KS D 6024의 청동주물 2종(CAC402)에 해당하며, 볼트는 KS D 5024의 실루틴 청동주물 2종(CAC802)에 해당 하고, 너트 및 스프링 와서는 KS D 3706의 STS304하당하므로 양호하였다.

| 구분 | 시험항목 | 시험기준 | 시험결과 | | |
|-------------|-------------------------|---------------|--------|--------|--------|
| | | | A 사 | B 사 | C 사 |
| 본체 | Cu (%) | 86.0 - 90.0 | 87.25 | 86.99 | 87.541 |
| | Sn (%) | 7.0 - 9.0 | 7.64 | 7.74 | 7.68 |
| | Zn (%) | 3.0 - 5.0 | 4.29 | 3.90 | 3.87 |
| | Pb (%) | 1.0 이하 | 0.81 | 0.93 | 0.909 |
| | Cu (%) | 78.5 - 82.5 | 81.310 | 81.25 | 81.364 |
| 볼트 | Zn (%) | 14.0 - 16.0 | 14.07 | 14.13 | 14.42 |
| | Si (%) | 4.0 - 5.0 | 4.51 | 4.35 | 4.19 |
| | Pb (%) | 0.3 이하 | 0.028 | 0.024 | 0.026 |
| 너트 | C (%) | 0.08 이하 | 0.053 | 0.035 | 0.041 |
| | Si (%) | 1.00 이하 | 0.425 | 0.526 | 0.445 |
| | Mn (%) | 2.00 이하 | 0.912 | 1.904 | 1.670 |
| | P (%) | 0.045 이하 | 0.026 | 0.0241 | 0.0249 |
| | S (%) | 0.030 이하 | 0.003 | 0.0027 | 0.0148 |
| | Ni (%) | 8.00 - 10.50 | 8.29 | 10.09 | 8.67 |
| | Cr (%) | 18.00 - 20.00 | 18.20 | 18.71 | 18.45 |
| | C (%) | 0.08 이하 | 0.064 | 0.067 | 0.044 |
| 스프링 와서 | Si (%) | 1.00 이하 | 0.623 | 0.556 | 0.599 |
| | Mn (%) | 2.00 이하 | 1.88 | 1.80 | 1.48 |
| | P (%) | 0.045 이하 | 0.026 | 0.026 | 0.0229 |
| | S (%) | 0.030 이하 | 0.001 | 0.001 | 0.0126 |
| | Ni (%) | 8.00 - 10.50 | 9.21 | 8.28 | 8.16 |
| Cr (%) | 18.00 - 20.00 | 19.70 | 19.00 | 19.50 | |
| 저항접점단자 조립시험 | 적용 전선(100μ), 포인력(300μ)이 | 이상없음 | 이상없음 | 이상없음 | |

2.3 압착단자 시험 결과

재료시험 항목만을 시험한 결과 표와같이 양호하였다.

2.4 개스킷 시험 결과

인장시험은 아령형 3호 시험편 4개, 기타시험은 3개씩 시험한 결과 표와같이 양호하였다.

| 시험항목 | 시험기준 | 시험결과 | | |
|--------|---------------------------------------------------------|-------|-------|-------|
| | | A 사 | B 사 | C 사 |
| 영수분시험 | 핀홀 및 기타 사용상 지장이 없을 것 | 이상없음 | | |
| | 시험전후 단자와 전선의 압착 접촉 부분의 전기저항 값은 시험 전 값의 20% 이상 증가하지 않을 것 | 4.5% | 10% | 9.7% |
| 주석도금두께 | 0.5μ 이상 | 1.1 | 0.9 | 1.1 |
| 도체재질 | Cu 함량 99.96 이상 | 99.97 | 99.97 | 99.97 |

| 시험항목 | 시험기준 | 시험결과 | | | |
|--------|-----------------------|----------------------------|-------|-------|-------|
| | | A 사 | B 사 | C 사 | |
| 보통상태 | 스프링 경도(Hs) | 70±5 | 67 | 66 | 66 |
| | 인장강도 (σ) | 최소 9.8 | 13.7 | 14.9 | 15.4 |
| | 연신율 (%) | 최소 250 | 291.9 | 376.9 | 432.9 |
| 노화시험 | 인장율력 (σ) (100% 연신율일때) | 최소 2.7 | 3.5 | 3.7 | 2.9 |
| | 스프링경도변화(Hs) | 최대 +10 | 4 | 2 | 2 |
| | 인장강도변화율(%) | 최대 -15 | 11.6 | 7.2 | 5.8 |
| 압축영구변형 | 연신율변화율(%) | 최대 -45 | -22.7 | -6.2 | -28.2 |
| | 압축영구변형(%) | 최대 40 | 22.10 | 21.58 | 38.76 |
| 내유시험 | 스프링경도변화(Hs) | -5 - +8 | 4 | 3 | -4 |
| | 인장강도변화율(%) | 최대 -15 | 13.6 | 0.8 | 3.3 |
| | 연신율변화율(%) | 최대 -40 | -21.7 | -20.0 | -25.8 |
| | 부피변화율(%) | -8 - +5 | -7.27 | -3.33 | -3.31 |
| 내유시험 | 스프링경도변화(Hs) | -15 - 0 | -6 | -1 | -2 |
| | 인장강도변화율(%) | 최대 -25 | -0.5 | 4.1 | 0.8 |
| | 연신율변화율(%) | 최대 -35 | -10.3 | -8.7 | -25.2 |
| | 부피변화율(%) | 0 - +20 | 7.29 | 2.24 | 6.66 |
| 저온굽힘시험 | 겉모양 | 균열이 생기지 않을 것 | 균열없음 | | |
| 부식및필착 | 겉모양 | 상대급속물 부식 시키거나 침착이 생기지 않을 것 | 이상없음 | | |
| 오존균열시험 | 겉모양 | 균열이 생기지 않을 것 | 균열없음 | | |
| 재질시험 | FT-IR spectrum | NBR 또는 동등이상 | NBR | | |

2.5 절연유 시험 결과

규정에 따라 발췌한 절연유를 KS C 2301에 따라 시험한 결과 표와 같이 양호하였다.

| 시험항목 | 시험기준 | 시험결과 | | | |
|----------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------|
| | | A 사 | B 사 | C 사 | |
| 비중(15/4℃) | 0.91 이하 | 0.88 | 0.87 | 0.87 | |
| | 40℃ | 13.0 이하 | 9.5 | 9.4 | 9.3 |
| 점도(CST) | 100℃ | 4.0 이하 | 2.4 | 2.2 | 2.5 |
| | 27.5 이하 | -35.0 | -35.0 | -35.0 | |
| 유동점(℃) | -27.5 이하 | -35.0 | -35.0 | -35.0 | |
| 인화점(멸폐식) (℃) | 140 이상 | 148 | 148 | 148 | |
| 증발량(%) | 0.4 이하 | 0.12 | 0.15 | 0.21 | |
| 반응시험 | 중성일것 | 중 성 | 중 성 | 중 성 | |
| 전산기(μ KOH/g) | 0.02 이하 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | |
| 부식성유황(140℃, 19hr) | 비부식성일 것 | 비부식성 | 비부식성 | 비부식성 | |
| 산화안정성 (120℃, 75hr) | 스러지 (%) | 0.3 이하 | 0.24 | 0.21 | 0.25 |
| | 전산기(μ KOH/g) | 0.4 이하 | 0.29 | 0.28 | 0.33 |
| 내전압(V) | 30 이상 | 42.9 | 72.1 | 72.6 | |
| 제적저항물질(μ, 80℃) | 1×10 ⁻⁴ 이상 | 2.2 × 10 ⁻⁴ | 2.4 × 10 ⁻⁴ | 1.8 × 10 ⁻⁴ | |
| Poly Chlorinated Biphenyls | 함유되지 않을 것 | 양 호 | 양 호 | 양 호 | |
| 광유여부(IR Spectrometer) | 광유일것 | 광 유 | 광 유 | 광 유 | |

3. 결 론

22.9W-y 3상 4선식 다중접지 배전계통에 사용하는 단상의 표준형 주상변압기는 외함, 접지단자, 압착단자, 개스킷, 절연유, 붓싱단자를 주 재료로 사용한다. A, B, C사의 제품을 개정된 규격을 검토하고 평가시험을 실시한 결과 우수한 재료의 사용으로 시험기준에 모두 만족을 하였다

[참 고 문 헌]

- [1] KS B 2805, "O링", 1992
- [2] KS C 2301, "전기절연유", 1998
- [3] KS D 3512, "냉간압연 광판 및 강대", 1999
- [4] KS D 3706, "스테인리스 강봉", 1998
- [5] 한전구매시방서, "표준형 주상변압기", 2003
- [6] IEEE C 57.12.00, "IEEE Standard General Requirements for Liquid-immersed Distribution, Power and Regulating Transformers", 1993