

Analysis of RCD'S Material Degradation by Weathering Test

김종민[†] · 방선배* · 송길목** · 신진용*** · 김창환[§]

(Chong-Min Kim · Sun-Bae Bang · Kil-Mok Shong · Shin-Jin Yong · Chang-Hwan Kim)

Abstract - Fault rate of RCD is increasing due to deterioration and long period usage in domestic. According to Korean standards, the RCDs are installed in panel boards. When RCDs are installed at outdoor, the RCDs must be protected from uv, water etc. by using the housing. However, many RCDs are exposed to the external environment. As a results, many RCDs have malfunctions so that cause the electrical accidents. The RCDs manufactured by four makes were used as the sample to weathering test. Futhermore, those were analyzed the ingredients of RCD'S using SEM, EDX and FT-IR/TAR before and after weathering test.

Key Words : RCD, Weathering Test, SEM, EDX, FT-IR

1. 서론

부하설비의 안전을 확보하기 위해 국내의 저압전로에는 인입구 보호장치로서의 누전차단기(漏電遮斷器, Residual Current-operated Protective Device, RCD)가 법적으로 사용하도록 규정되어 있다. 누전차단기는 인체감전을 예방하고 전기화재 및 전기설비사고 등을 방지하는 역할을 담당하고 있다[1-3]. 국내에는 3상4선식으로 바뀌면서 220V 사용설비에 대해 누전차단기가 사용되고 있으나 장기사용 및 노후로 인한 고장이 증가하고 있으며, 차단성능에 대한 오동작 가능성이 검증되지 않은 상태에서 일률적, 영구적으로 사용함에 따라 전기재해의 원인이 되는 것으로 나타나 있다. 2005년 발표된 자료에 의하면, 전체설비에 설치된 누전차단기는 약 25%정도가 노후로 인한 오동작이 발생되는 것으로 조사되어 있다. 특히, 국내 전기안전을 위해 전기설비의 정기점검을 담당하는 한국전기안전공사의 2008년도 일반주택 부적합 통계자료에 의하면, 35,552호 부적합 대상설비 중 누전차단기에 의한 부적합 대상이 2,502호(70.3%) 나타났으며 가장 높은 점유율을 보였다[4]. 그러나 220V에 사용되는 누전차단기의 경우 사용기간이 길어질수록 내부소자의 변형 또는 변성이 가속화 되는 것으로 보고되고 있으나 이에 대한 성능평가 또는 교체주기가 마련되어 있지 않아 현실적으로 저압설비를 보호하는 데는 어려움이 많은 게 현실이다. 일본 전기공업협회의 자료에 의하면, 교체추천주기를 약 12년으로 정의하고 있으며, 국내에서도 2003년도 한국전기안전

공사에서 실험한 자료에 의하면, 약 15년에서 25년의 수명으로 예측하고 있다. 이는 국내 환경과 보급되고 있는 각 제조업체의 누전차단기 성능에 의해 달라지는 것으로 나타나 있다. 누전차단기의 구조는 접속부(connection part), 외함(housing), ZCT와 제어부(control part), 접점, 바이메탈 등 작은 크기에 비해 다양한 메커니즘으로 구성되어 있다. 따라서 누전차단기의 각 부분에 대한 평가가 적정하게 이루어지고 국내의 설치장소와 환경, 제조회사, 부하의 조건을 명확히 한다면, 교체주기를 정하기 위한 수명예측이 가능할 것으로 판단된다[5-7].

본 논문에서는 누전차단기의 취약한 부분을 현장조사에 의해 미리 선정된 자료를 근거로 하여 수명항상 누전차단기의 개발에 필요한 열화인자 추출과 분석을 수행하였다. 그 중 단자 접속부는 산화부식과 접속부에서의 접촉 불량에 주요 원인이 되어 전기재해로 이어지는 것으로 이에 대한 평가를 위해 염수분무시험을 실시하였으며[8], 일정시간이 지나면, 시료를 채취하여 광학현미경에 의해 산화부식이 진행되는 과정을 관찰하였으며, 주사전자현미경(SEM)과 에너지 분산형 X선 분광분석기(EDX)에 의해 분석되었다. 자외선, 열에 의해 취약한 외함(housing)의 경우에는 옥외폭로시험과 실내축진시험에 의해 가속열화를 진행하였으며, 일정시간마다 시료를 채취하여 적외선분광기(FT-IR/ATR)에 의해 화학적 표면구조분석을 수행하였다[9][10]. 누전차단기의 선택은 국내 판매중인 누전차단기 중 220V 과부하검용 30A 누전차단기를 대상으로 하였으며, 4개 회사의 제품을 시장에서 무작위로 구입하여 시료로 활용하였다. 향후, 본 연구는 차단기 개발과 현장에서의 안전한 점검을 위해 매우 중요한 자료로 활용이 가능할 것으로 기대된다[11-13].

2. 저압용 누전차단기 내후성시험과 성능저해 요인

옥외에 노출된 재료/부품(또는 모듈/완성품)은 자외선, 열, 온도, 습도, 산성비 등의 환경 인자에 의해 성능저하가 일어

[†] 교신저자, 정희원 : 전기안전연구원 주임연구원
E-mail : cmkim@kesco.or.kr

* 정희원 : 전기안전연구원 선임연구원 · 공박

** 정희원 : 전기안전연구원 책임연구원 · 공박

*** 비희원 : 한국전자제시험연구원 선임연구원 · 공박

§ 비희원 : 한국전자제시험연구원 연구원

접수일자 : 2010년 3월 19일

최종완료 : 2010년 4월 21일

나게 되며, 재료들의 성능저하가 어느 정도의 속도로 진행되고 있는가와 사용수명에 대한 예측은 생산자나 소비자에게 중요한 문제이다. 여러 환경 인자에 의한 성능저하 현상은 주로 내후성(耐候性, Weathering)이란 용어로 표현되며, 이를 평가하기 위한 시험은 내후성 시험(Weathering Test)으로 통용되고 있다. 내후성시험은 환경인자가 시간에 따라 부품/소재 및 완제품에 미치는 영향에 대해서 시험하는 것으로, 일반적으로 옥외폭로시험과 촉진내후성시험을 병행하여 수행한다. 촉진내후성시험의 모든 환경인자 구현이 어렵다는 점, 옥외폭로시험은 시간 소모성등의 단점이 존재하므로 이를 병행하여 최적화된 시험결과를 도출한다. 내후성능에 미치는 중요 영향 인자로는 광(light), 열(heat), 수분(moisture) 등이 있으며, 이로 인해 전기설비에 심각한 영향을 미치게 된다. 광은 주로 태양에너지의 총 입사량보다 자외선의 표면 도달광량에 따라 중요성이 있는 것으로 알려져 있으며, 분자 간 결합을 끊을 수 있는 에너지 세기는 파장에 반비례하기 때문에 가시광선 및 적외선보다는 자외선의 지표 도달량이 재료의 내구/내후 성능에 막대한 영향을 초래한다. 열은 백색에서 검은색으로 갈수록 노출 경사도가 수직에서 수평으로 가까워질수록 많은 영향을 받으며, 지구상에서 관측되는 최대온도는 약 60℃정도이다. 이는 상용 고분자의 결합에너지를 끊을만한 충분한 에너지는 되지 않으나 밀폐된 공간에서는 100℃이상으로 상승되기 때문에 열에 의한 영향성도 배제하기 어렵다. 수분은 고분자 내부로 침투하거나 모세관 현상에 의해 계면으로 이동함으로써 표면이 손상을 받거나 균열이 발생된다. 고분자 표면 내로 흡수된 수분은 고분자 구조 중 물과 반응할 수 있는 관능기와 가수분해 되어 고분자 내부 결합 깨짐과 고분자 분자 구조 사이 수소 결합이 깨지게 되는 가스작용(plasticization)이 발생될 수 있고, 이로 인해 유리전이온도(T_g)가 감소되는 현상을 경험할 수 있다. 또한 흡수된 수분은 주쇄 또는 측쇄의 절단과 가교, 그리고 가스작용 외에 팽윤(swelling)과 공극형성(void formation)을 초래할 수 있다. 이에 본 연구에서 차단기의 환경시험은 염수분무에 의한 열화, 제논아크등(ATLAS Ci-4000, USA) 조사에 의한 실내열화촉진방법, 옥외폭로에 의한 열화 등 총 3개의 시험법을 이용하였다.

표 1 저압용 누전차단기의 환경시험 분류
Table 1 Classification of environmental test

환경조건	시험방법	시험조건	시험평가
염수분무	KS C 0223, 0224 KS C IEC60068-2-52	5 wt% NaCl liquid, 온도35℃	단자 접속부
실내열화 촉진	ASTM G155	xenon arc lamp(10,000kJ/m ²)	광 열화 특성
옥외폭로	KS D 0060	남향, 직접폭로 90°, 24개월	외함재의 표면구조

2.1 염수분무에 의한 차단기 단자 접속부 평가

외부환경 요인 중에 염해로 인해 발생하는 절연성능저하는 삼면의 바다인 국내현장에서 가장 많이 발생하는 고장

메커니즘 중의 하나이다. 이에 대한 적절한 평가를 위해 염수분무시험법이 이용되었다. 그림 1은 염수분무 시험장치에 차단기가 설치된 형태를 나타낸 것이다.

염수분무 시험은 차단기 외함을 제외한 내장재 쪽의 금속 재료에 대한 부식을 평가하기 위한 실험이다. 시험방법으로 KS C IEC60068-2-52에 의한 염수분무시험방법이 활용되었다. 염수분무에 의해 산화 부식된 차단기 내장재 중 단자 접속부는 광학현미경에 의한 관찰과 주사전자현미경, 에너지 분산형 X선 분광법에 의해 열화진행과정을 평가하였다.



그림 1 염수분무시험장치
Fig. 1 Salt water spray testing chamber

2.2 실내열화촉진시험에 의한 차단기 외함 평가

광에 의한 열화평가방법으로 이용된 실내열화촉진시험은 제논 아크램프에 S Borosilicate/S Borosilicate 필터를 조합하여 태양광과 유사하도록 하였다. 그림 2는 실내 광열화 촉진을 위해 제작된 장치이다.



그림 2 ASTM G155에 의한 시험장치
Fig. 2 Acceleration testing chamber by ASTM G155

실내열화촉진시험은 ASTM G155에 의한 시험조건에 준해 실시하였으며, 표 2에서는 시험조건을 명시하였다. 광에 의해 열화가 촉진된 차단기 외함 재료는 파장을 연속적으로 변화시킨 적외선을 시료에 조사시켜 분자의 고유진동과 동일한 파수의 적외선이 흡수되어 분자 구조에 해당하는 스펙트럼 분석이 가능한 적외선 분광법(FT-IR/ATR)을 통해 열화에 변화된 분자 구조를 평가 할 수 있다.

표 2 가속열화를 위한 운전조건(ASTM G155)
Table 2 Operating condition for accelerated deterioration test (ASTM G155)

구분		운전조건
필터	Inner필터	Type S Borosilicate
	Outer필터	Type S Borosilicate
Irradiance Control		0.55W/m ² at 340nm
사이클 구성	광조사	102분
	광 조사 및 물 분무	18분
블랙패널 온도		65℃
상대습도		50 %

2.3 옥외폭로에 의한 차단기 외함 평가

누전차단기는 옥내에 설치되어야 하나 국내에서는 옥외설치에 의해 운용되는 경우가 많은 것으로 나타났다. 옥외에 설치되는 누전차단기의 경우에는 외함(housing)이 자외선, 열, 온도, 습도, 산성비 등의 외부환경 인자에 노출되어 성능저하가 일어나게 된다. 각 제조회사에서 생산되는 차단기의 사양에 따라 재료들의 성능저하 진행이 달라진다. 부하설비를 가장 우선적으로 보호하는 누전차단기의 사용수명에 대한 예측은 생산자나 소비자에게 중요한 문제이다. 옥외폭로 시험은 환경인자가 시간에 따라 부품/소재 및 완제품에 미치는 영향에 대해서 시험하는 것으로 그림 3은 옥외폭로시험장에 실제로 설치된 누전차단기 시험모습이다. 옥외폭로시험에서 직접폭로시험대에 좌측부는 통전부분, 우측부는 비통전 부분으로 하여 설치하였다. 직접폭로대 뒷면에는 차단기 안전성 확보를 위해 전원 측에 제조사에 따라 4개로 구분하여 설치하였으며, 통전 유무를 확인하기 위해 뒷면에 점등을 부착하였다.



그림 3 내후성 시험 설비(KS D 0060)
Fig. 3 Weathering test equipment(KS D 0060)

분전반은 폭로대 10m 근방에 설치하였으며, 폭로각도는 90°, 정남향으로 하였다. 옥외폭로에 의해 열화된 차단기의 외함재는 실내열화촉진시험에 의해 열화된 차단기의 외함재와 동일한 방법으로 평가하였다.

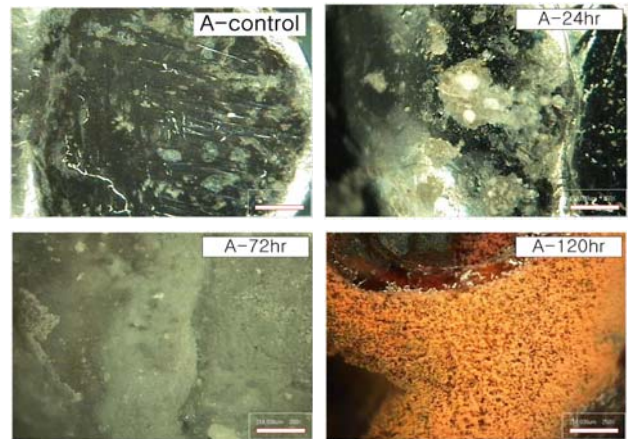
3. 결과 및 토론

3.1 차단기 단자 접속부의 표면 관찰

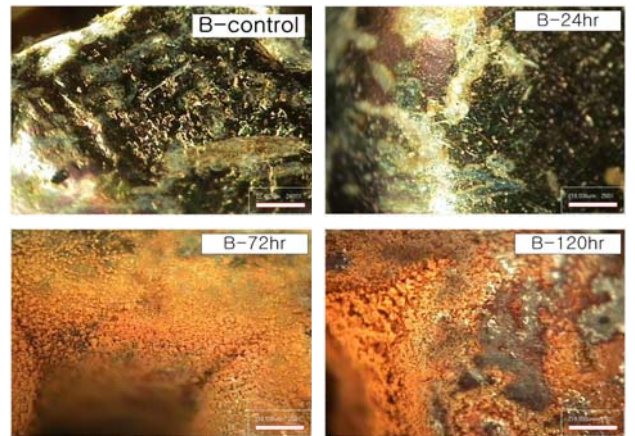
차단기 접속부를 염수분무시험에 의해 부식을 진행시킨

결과에서 표면의 산화부식이 진행되어 변색 또는 변형이 발생하는 단계를 비교하였다. 그림 4는 비교대상이 되는 4개사(A사, B사, C사, D사)의 제품에 대해 각각 염수분무시험을 실시하여 일정시간경과 후의 표면변화과정 즉, 녹 발생 정도를 관찰한 것이다.

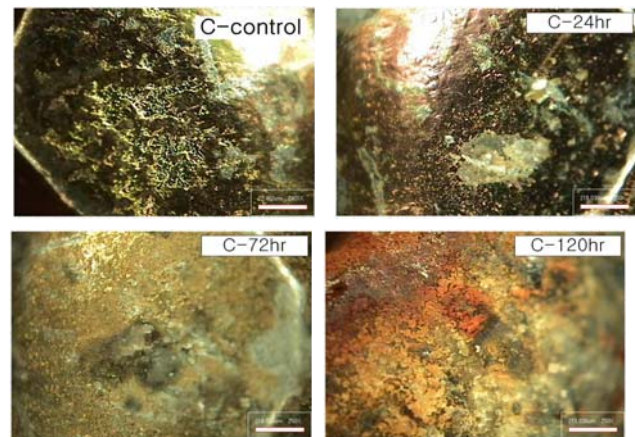
그림 4에서 염수분무 시험을 통해 부식되는 단계를 구분하였다. 누전차단기의 1, 2차 단자접속부측은 부식이 먼저 발생하고 차단기의 전식이 일어 날수 있는 중요한 부분이기



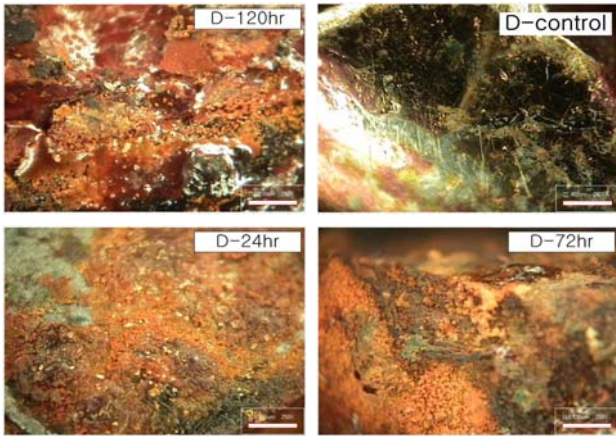
(a) A사



(b) B사



(c) C사



(d) D사

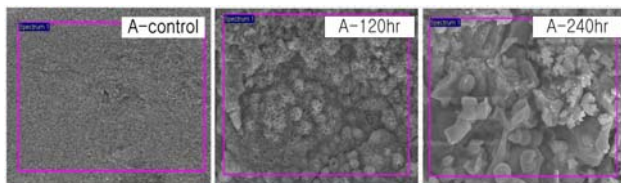
그림 4 접속부에서의 부식과정
Fig. 4 Corrosion process of connection parts

때문에 광학현미경을 통하여 부식이 일어나는 과정을 관찰하였다. 초기상태에서 부식이 진행되는 단계에는 백청에서 적청으로 진행되는 것으로 확인되었다. 부식의 진행과정을 통해 국내 환경에서 열화촉진에 중요한 매개체가 되는 염수에 의한 평가를 진행하는 것이 가능할 것으로 판단된다. 4개 제조사들 중 D사가 가장 부식이 빨리 진행되는 것으로 보이며, A사가 비교적 진행속도가 느린 것으로 확인되었다. 즉, 금속의 부식은 수분 및 고온 환경에서 전기화학적 이동을 용이하게 할 수 있는 촉매 존재 하에서 가속화됨을 알 수 있었다.

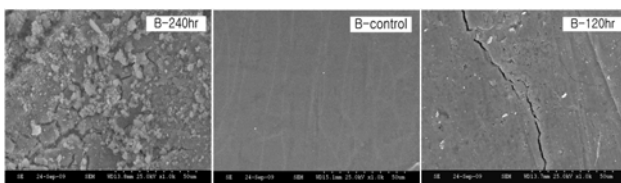
3.2 단자접속부의 산화부식에 의한 성분분포

각 제조사 별 주요 부식에 의해 고장이 일어나는 부품에 대해 산화부식 메커니즘을 확인하였다. 산화부식의 단계를 총 3단계로 나누어 수행되었으며, 정상상태에서의 표면과 120시간 후의 부식상태를 확인하였으며, 240시간이 지난 후에 표면의 부식정도를 관찰하였다.

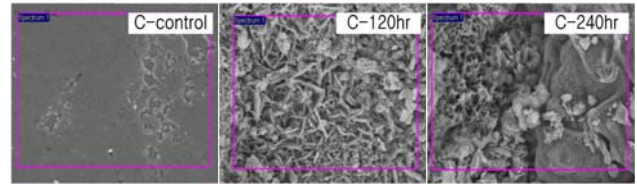
그림 5는 4개 업체의 저압용 누전차단기를 대상으로 하여 부식단계별로 주사전자현미경(SEM)에 의해 촬영한 것이다. 각 제조업체에서 생산된 누전차단기의 경우 그 표면의 구조가



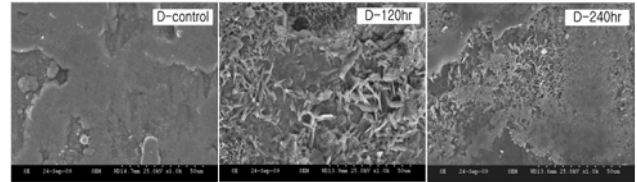
(a) A사



(b) B사

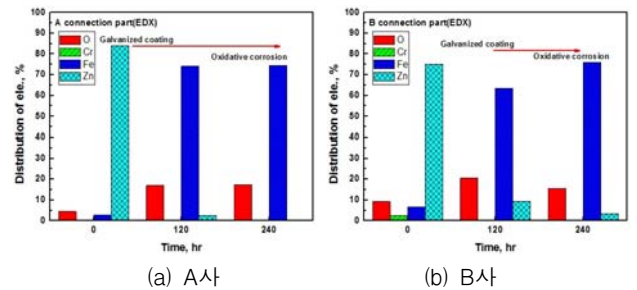


(c) C사



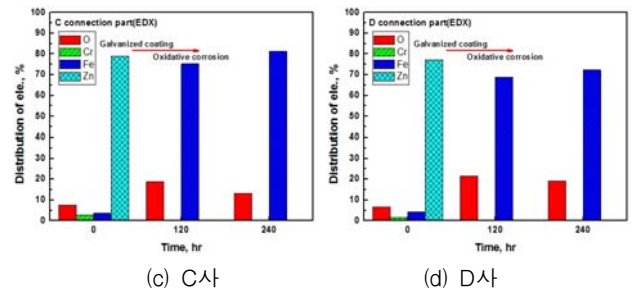
(d) D사

그림 5 저압용 누전차단기 단자접속부의 표면
Fig. 5 Surface of terminal connection part at low-voltage RCD



(a) A사

(b) B사



(c) C사

(d) D사

그림 6 단자접속부의 산화부식 단계별 성분분포
Fig. 6 Step-distribution of elements by oxidized corrosion of terminal connection part

다른 것을 확인할 수 있으며, 염수분무시험 시간이 증가함에 따라 산화부식에 의해 기존표면에 있던 물질이 탈락되면서 새로운 표면이 형성된다. 이것은 제조사별, 염수분무시험 시간에 따른 녹 발생 상태 및 정도를 확인하기 위해 에너지분산형 X선 분광분석을 통해 화학성분을 수행한 결과를 그림 6에 나타내었다.

C사와 D사의 단자접속부는 아연도금코팅 부분이 타사에 비해 빠른 부식이 진행된 것으로 확인되며, A사의 경우 아연도금코팅이 타사에 비해 두꺼운 것으로 추정된다. 그러나 아연도금코팅이 C사, D사와 유사한 B사의 경우에는 주사전자현미경에 의한 표면관찰 결과 부식진행이 비교적 느린 것으로 확인된 바 있었다. 부식진행이 빠르게 되면, 접속부의 접촉 불량이나 저항이 증가하여 전기재해를 발생시킬 수 있다. A

사의 단자접속부는 O의 성분분포는 초기에 약 4.4%인 것이 240시간이 지나면, 17.3%로 증가하는 특성을 보였다. 또한 아연도금의 경우 초기에는 약 83.8%이었던 것이 120시간이 지나면 2.5%로 성분비가 낮아지고 240시간이 지나면, 아연도금 부분이 부식이후 탈락되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 C사에 비해 120시간 이후에도 아연 성분이 확인된 A사와 비교해 도금부분의 지속성이 유지되는 것으로 평가된다. B사의 단자접속부는 아연도금부분이 초기에는 약 75%의 성분비로 되어 있으나 120시간이 지나면, 약 9.2%로 줄어들고, 240시간이 지나면, 약 3.3%의 성분비를 확인할 수 있었다. 도금부분의 지속성이 비교적 오래 유지되는 것으로 나타났다. C사의 경우에는 O의 성분분포가 초기에는 전체 성분의 약 7.6%이었던 것이 240시간이 지나면 약 13.2%로 증가하는 특성이 있다. 또한 미량의 Cr 성분은 약 2.7%이었던 것이 부식에 의해 없어지고, 아연도금 코팅이 초기에는 약 79%이었던 것이 120시간이 지나면, 성분이 없어진 것으로 확인되었다. 이는 산화부식이 진행되어 도금된 부분의 역할이 없어진 것으로 확인된다. D사의 단자접속부는 B사와 달리 초기의 약 77.3%이었던 아연도금의 성분비가 120시간이 지나면 없어지는 것으로 나타나 도금부분의 지속성이 부식에 취약하다고 판단된다.

3.3 외함재 열화 평가

과장을 연속적으로 변화시킨 적외선을 시료에 조사시키면 분자의 고유 진동과 동일한 주파수의 적외선이 흡수되어 분자 구조에 해당하는 스펙트럼이 얻어진다. 차단기 외함재의 경우에는 각 열화 진행별로 검출된 스펙트럼을 초기 제품의 스펙트럼과 비교하여 열화에 의해 변화된 분자의 구조를 평가할 수 있다. 그림 7은 옥외폭로시험 및 실내열화촉진시험을 평가기간에 따라 차단기 외함(커버와 핸들)을 FT-IR/ATR로 측정했을 때 광 열화에 의해 약 1720cm⁻¹의 카르보닐기 변화를 피크면적에 적분한 그래프이다.

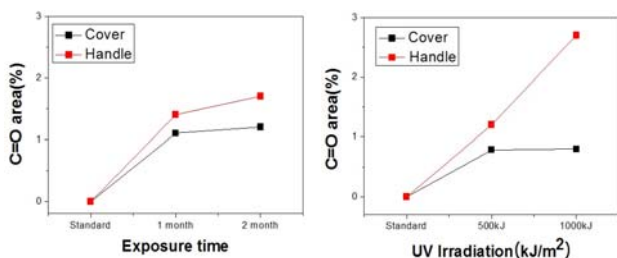


그림 7 차단기 외함재에서의 카르보닐기 비교
Fig. 7 Comparison with carbonyl group in RCD housing

대부분의 차단기 재료는 열화 진행에 따라 표면의 색차 및 광택, 균열 및 박리등이 진행되며, 전체적으로 차단기 재료는 가교도를 높여 표면은 딱딱한 특성을 나타낸다. 이러한 현상은 카르보닐기의 생성으로 인한 화학적 변화로 기인된다. 즉, 카르보닐기의 형성은 대기 중의 산소와 결합하여 peroxy radical을 형성하며, 주변의 다른 분자의 수소와 반응하여 hydroreroxide(분자사슬 안에서의 산화반응)를 생성하게 된다. 이런 과정을 거쳐 카르보닐 화합물이 만들어지게 되며, 이는 차단기 외함재를 이루고 있는 주성분이 외부 환경인자중 자외선 영향에 의해 주 사슬의 분해 반응이 일어나는 것이다. 따라

서 약 1720cm⁻¹ 카르보닐기의 화학적 변화를 peak면적을 적분하여 평가주기에 따라서 알아보았다. 그 결과 노출시간에 따라서 옥외폭로 및 열화촉진시험을 한 카르보닐 면적이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 광 열화가 진행되었음을 보여주는 것이며, 차단기 외함 표면이 화학적 변화로 인하여 물리적 특성도 변하는 것을 말해준다. 이러한 차단기 외함의 고분자재료는 환경적인 요소(태양광선, 온도, 비, 습기, 대기오염, 공기 중의 산소등)에 아주 민감하다. 다양한 변화들로 인하여 재료는 옥외 환경에 노출됨으로써 발생하는 변형과 고장으로 소비자들은 시간이 지나면서 필연적으로 노화되는 제품들을 유지 보수하고 교체하고 있는 실정이다. 따라서 내후성 시험을 통하여 저압차단기 기능의 저하와 고장을 지연 및 예방하기 위해서는 주요 열화인자를 분석하여, 나아가 재료를 향상시킬 제품 개발을 설계하고 이해하는 것이 매우 중요하다고 판단된다.

4. 결 론

본 논문에서는 국내에서 사용되어지고 있는 4개사의 누전 차단기에 대해 내후성 평가를 통하여, 누전차단기의 외함과 내부의 주요열화인자 추출 및 분석을 수행하였다.

(1) 초기의 부식이 진행 단계에서는 색의 변화가 백청에서 적청으로 진행되었다. 4개 제조사들 중 D사가 가장 부식이 빨랐으며, A사와 C사는 비교적 진행속도가 느린 것으로 확인되었다.

(2) A사의 산화부식 진행은 O의 성분분포가 초기에 약 4.4%인 것이 240시간이 지나면, 17.3%로 증가하였으며, 아연도금의 경우 초기에는 약 83.8%이었던 것이 120시간이 지나면 2.5%로 성분비가 낮아지고 240시간이 지나면, 아연도금부분이 없어지는 것으로 확인되어 도금부분의 지속성이 비교적 유지되는 것으로 평가된다.

(3) B사의 산화부식 진행은 아연도금부분이 초기에 약 75.0%의 성분비로 되어 있으나 120시간이 지나면, 약 9.2%로 줄어들고, 240시간이 지나면서 약 3.3%의 성분비를 확인할 수 있었다.

(4) C사의 산화부식 진행은 O의 성분분포가 초기에는 전체 성분의 약 7.6%이었던 것이 240시간이 지나면 약 13.2%로 증가하였으며, 미량의 Cr 성분은 약 2.7%에서 부식에 의해 없어지고, 아연도금 코팅이 초기에는 약 79.0%이었던 것이 120시간이 지나면, 성분이 없어진 것을 확인하였다.

(5) D사의 단자접속부에 대한 산화부식 진행은 B사와 달리 초기의 약 77.3%이었던 아연도금의 성분비가 120시간이 지나면서 없어지는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 2010년도 지식경제부 전력산업기반기금의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

[1] KS C IEC 60947-2, “저압개폐장치 및 제어장치-제2부 차단기”, 기술표준원, 2008. 12.

- [2] KS C IEC 60898-1, “가정용 및 이와 유사한 설비에 사용되는 과전류 보호용 차단기-제1부: 교류용 차단기, 기술표준원, 2008. 12.
- [3] KS C IEC 61009-1, “가정용 및 이와 유사한 용도의 과전류 보호 장치를 가진 누전차단기(RCBO)-제1부: 일반 요구사항, 기술표준원, 2008. 12.
- [4] 한국전기안전공사, “전기해체통계분석”, 제18호, 2009. 12.
- [5] 강원구, 김호용, 홍진완, 손수국, 변영복, “고품질 누전 차단기 개발에 관한 연구”, 1988년도 전기전자공학 학술논문집, pp.833-836, 1988. 07.
- [6] 설승기, 박민호, “누전차단기의 설계와 제작”, KIEE Vol. 29, No. 5, pp.303-311, 1980. 05.
- [7] 문식, 정병하, 김봉성, “누전차단기의 특성 분석”, 2002 KIEE 하계학술논문집, pp.780-782, 2002. 07.
- [8] IEC60068-2-52, “Environmental testing - Part 2: Tests - Test Kb: Salt mist, cyclic (sodium, chloride solution)”, IEC, 1996. 02.
- [9] KS D 0060, “육외 폭로 시험 방법 통칙”, 기술표준원, 2005. 12.
- [10] ASTM G155, “Standard Practice for Operating Xenon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-Metallic Materials”, ASTM, 2005. 10.
- [11] 유재근, 이상익, 전정채, “자가용 수용가에서 배선용 및 누전차단기 오동작에 대한 조사연구”, Journal of KIEE, Vol. 19, No. 2, pp.87-93, 2005. 03.
- [12] 김언석, 한윤탁, 김봉성, 정종일, 정병하, 김재철, “누전 차단기의 충격과 부동작 특성과 EMC 성능 비교분석”, 2003 KIEE 추계학술논문집, pp.319-323, 2003. 11.
- [13] 이복희, 이승철, 김찬오, “뇌임펄스전압에 대한 30[A] 용 고감도형 누전차단기의 오동작에 대한 특성의 해석”, Journal of KIEE Vol. 11, No. 6, pp.96-103, 1997. 11.

저 자 소 개



김 종 민 (金鍾旻)

1972년 7월 18일생. 1998년 전북대학교 전기공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년~현재 전기안전연구원 주임연구원.
 Tel : 031-580-3063
 Fax : 031-580-3111
 E-mail : cmkim@kesco.or.kr



방 선 배 (方善培)

1968년 5월 18일생. 1994년 명지대 전기공학과 졸업. 2002년 강원대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년 동 대학원 졸업(박사). 2003년~현재 전기안전연구원 선임연구원.
 Tel : 031-580-3062
 Fax : 031-580-3111
 E-mail : bsb1586@kesco.or.kr



송 길 목 (宋佶穆)

1967년 3월 31일생. 1994년 숭실대 전기공학과 졸업. 2003년 동 대학원 졸업(석사), 2007년 동 대학원 졸업(박사). 1996년 3월~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 책임연구원.
 Tel : 031-580-3061
 Fax : 031-580-3111
 E-mail : natasder@naver.com



신 진 용 (申震龍)

1973년 3월 14일생. 1996년 충남대학교 정밀공업화학학과 졸업. 1998년 동 대학원 공업화학학과 졸업(석사), 2006년 동 대학원 졸업(박사), 2006년 9월~현재 한국전자제시험연구원 선임연구원.
 Tel : 041-667-9430
 Fax : 041-667-9432
 E-mail : solgel@kicm.re.kr



김 창 환 (金昶煥)

1979년 6월 1일생. 2005년 한남대 고분자공학과 졸업. 2007년 동 대학원 신소재공학과 졸업(석사). 2008년~ 현재 한국전자제시험연구원 연구원.
 Tel : 041-667-9430
 Fax : 041-667-9432
 E-mail : kch@kicm.re.kr