



&lt;연구논문&gt;

ISSN 1225-8024(Print)  
ISSN 2288-8403(Online)

한국표면공학회지  
J. Kor. Inst. Surf. Eng.  
Vol. 47, No. 6, 2014.

<http://dx.doi.org/10.5695/JKISE.2014.47.6.335>

## 누전차단기 하우징의 내후성에 관한 연구

김창환\*, 신진용, 강병철, 김상명

한국건설생활환경시험연구원 에너지환경사업본부

### A Study on the Weathering of RCD'S Housing

Chang-Hwan Kim\*, Jin-yong Shin, Byung-Chul Kang, Sang-Mung Kim

Energy & Environment Business Division, Korea Conformity Laboratories, Ochang, 363-883, Korea

(Received July 21, 2014 ; revised December 16, 2014 ; accepted December 16, 2014)

#### ABSTRACT

This study selected an outdoor RCD'S and verified behavior of change in the housing with time. Weathering tests were carried out as outdoor exposure test (90 degrees, 37 degrees) and laboratory test (xenon lamp), and the results were evaluated based on color difference, gloss, contact angle, and optical microscope. This study can provide basic data for standardization of development and performance evaluation on RCD'S housing products.

*Keywords : RCD, Weathering, Gloss, Color Difference, Contact angle*

## 1. 서 론

누전차단기는 가정용에서 공업용까지 모든 분야에서 널리 사용되고 있으며, 장치나 설비를 구성하는데 없어서는 안 될 중요한 보호기기이다. 이러한 누전차단기의 활용성과 중요성이 커지면서 저압계통의 전기수용가에서의 배선용 차단기(molded case circuit breaker : MCCB) 및 누전차단기(residual current-operated protective device : RCD'S)의 신뢰성이 요구되고 있다. 또한 정보화 사회가 진행될수록 안정적인 전력공급이 요구되고 있으며, 이로 인한 저압 차단기의 중용성은 점점 높아지고 있는 실정이다. 차단기는 외부환경에 직접적으로 접하지 않는 내부 용도로 많이 사용되었으나, 최근 들어서는 외부 환경에 영향을 받는 내외장용으로 사용되면서 내후성(weathering)이 강조되게 되었다.

현재 누전차단기는 매우 광범위한 영역에서 다양

한 형태로 적용되고 있으며, 기술의 고도화를 배경으로 소형화, 고 신뢰도화, 경제성 향상이 도모되고 있으며, 국내외 차단기 시장 추세는 정격전류의 크기가 증가함에도 불구하고 설치 공간 및 디자인 등의 문제로 인하여 소형화가 요구되고 있다<sup>1,4)</sup>.

따라서 본 연구에서는 가장 대중적이면서, 일반적으로 많이 사용되고 있는 누전차단기 4개 제조사를 선별하여 차단기 외함(housing)에 대한 주요고장 인자 중 태양광(자외선)을 이용하여 옥외폭로시험 90°, 37° 및 실내축진시험(xenon)등 폭로기간에 따라서 어떤 변화들이 발생하는지 1차 판정 기준인 변색 및 광택, 접촉각 및 광학현미경을 통하여 확인하였다.

이러한 판정기준은 차단기의 열화과정을 실제 현장에서 쉽게 판별함으로써 사고 위험성을 사전에 미리 예측하고, 차단기 제조사들의 제품개발 및 성능평가를 위한 기초자료로 활용하기 위함이다.

## 2. 실 험

### 2.1 재료

누전차단기는 현재 국내외 차단기 시장추세에 따

\*Corresponding Author : Chang-Hwan Kim

Energy & Environment Business Division, Korea Conformity Laboratories  
E-mail : kch@kcl.re.kr

라 설치 공간 및 디자인의 문제로 인한 소형화 저압차단기를 결정하여 국내 제품 중 가장 대중적이고 활용성이 높은 차단기 A사, B사, C사, D사로 선정하였으며, 차단기 하우징의 주재료는 다음과 같다.

2.2 내후성 시험방법

차단기 주요고장 인자로는 자외선, 온·습도, 수분, 산성비 등이 있으며, 이러한 환경인자로 인해 차단기 구성 부품 중 외함 커버 및 핸들, 차단기 내부 급속단자들의 고장이 발생되며, 고장현상으로는 외함의 경우 표면의 화학적 반응으로 인한 변색 및 균열이 나타나며, 핸들의 경우 가교화로 인해 딱딱한 성질 변화로 인하여 핸들의 반복적인 trip으로 인한 피로파괴가 나타날 수 있다.

따라서 이러한 고장원인으로 인한 차단기 주요 열화인자를 바탕으로 시험방법을 크게 세 가지로 구분하였다.

- (1) Outdoor exposure test method : Direct exposure 90 degree
- (2) Outdoor exposure test method : Direct exposure 37 degree
- (3) Acceleration test method : Ci-4000 Weather-O-meter(xenon-arc)

가속열화시험방법 중 제논아크시험방법은 온·습도 65°C, 50%에 340 nm 파장으로 0.55 w/m<sup>2</sup> 복사조도를 조사하여 짧은 시간 안에 물리·화학적 성질의 경시변화를 조사하였다. 차단기 고정은 상부와 하부 쪽에 tie나 혹은 다른 고정시킬 수 있는 철사를 이용하여 rack의 상·중·하에 고정시켰다.

시험방법은 규격 KS M ISO 4892-2로 진행하였으며, 0.35 w/m<sup>2</sup>, 0.55 w/m<sup>2</sup>, 0.75 w/m<sup>2</sup>의 세 가지 광량 중 0.35 w/m<sup>2</sup>의 경우 누전차단기로 조사한 결과 외함 쪽의 변화가 옥외폭로시험과 비교했을 때

Table 1. Information of each materials

Company	Main materials	surface condition	Housing color
A	PP	coating finish	Black
B	Nylon 66	coating finish	Gray
C	Nylon 66	coating finish	Black
D	Nylon 66	No coating	White

Table 2. Classification of environmental test

Test method	Condition	Time
Xenon-arc	0.55 w/m <sup>2</sup>	6,000 kJ/m <sup>2</sup>
Direct exposure	90°, 37°	90° : 395day 37° : 375day

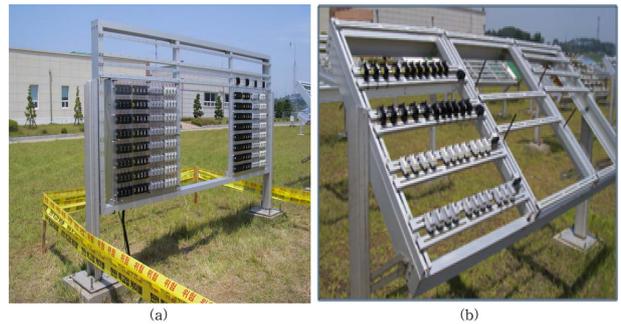


Fig. 1. Outdoor exposure test device (a) 90 degree and (b) 37 degree.

의 극히 미비하였고, 0.75 w/m<sup>2</sup>의 경우 차단기 외함 쪽의 burning현상으로 인해 광분해 현상을 알 수가 없기 때문에 중간 광량인 0.55 w/m<sup>2</sup>로 선택하였으며, rack 각도는 90도로 하여 설치하였다.

옥외폭로시험방법은 다른 각도에 따라서 그림 1과 같이 직접 폭로대에 설치하였으며, 실제 차단기가 건물 외벽에 설치되어 있는 각도와 동일하게 모사하기 위해 90도로 하여 정남향에 위치시켜 KS D 0060에 따라 서산옥외폭로시험장에 설치하여 폭로시켰으며, 37도의 경우는 90도에 비하여 약 1.5배 정도 많은 자외선 양을 습득하기 때문에 선정하게 되었다.

(a)의 경우 직접 폭로대 뒷면에 차단기 안전성 확보를 위해 전원 측에 제조사 별 배선용차단기를 각각 4개 설치하였으며, 통전 유무를 확인하기 위해 뒷면에 점등을 부착하여 바로 확인 할 수 있게 하였다. 분전반은 폭로대 10 m 근방에 설치하였다.

2.3 적외선분광 분석

누전차단기 하우징 각각의 성분분석을 확인하기 위해 THERMO NICOLET사의 AVATAR 360을 이용하여 스펙트럼을 분석하였다.

Table 3. Conditions of accelerated deterioration test for RCD's housing

Classification		Operating condition
filter	Inner filter	Type S Borosilicate
	Outer filter	Type S Borosilicate
Irradiance Control		0.55W/m <sup>2</sup> at 340nm
Cycle	photo irradiance	102minute
	photo irradiance and water spray	18 minute
Black panel temp		65°C
Relative humidity		50%
Lamp		Xenon arc

2.4 색차 측정

KS M ISO 7724의 방법으로 하여 Gretag Macbeth 색차계를 이용하여 측정하였으며, 아래식과 같이 명도, 채도, 색상의 차이를 CIE 1976(L\* a\* b\*)색공간의 색 좌표를 이용하여 계산하였다.

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

$$L^* = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16Y/Y_n$$

$$a^* = 500[(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}]$$

$$b^* = 500[(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}]$$

2.5 광택 측정

BYK Gardner사의 haze-gloss를 이용하여 조사 면을 중심으로 세 부분을 측정하였으며, 그에 따른 평균값을 계산하였다.

2.6 접촉각 측정

KYOWA사의 Drop Master DM 300을 사용하여 5 um의 사이즈로 폭로 면에 떨어뜨려 접촉각을 측정하였다. 측정은 3회 실시하여 평균값을 산출하였다. 용액은 증류수를 사용하였다.

2.7 광학현미경 관찰

각각의 내후성 시험방법에 따라 전처리 후 차단기 외함(housing)이 광 분해 후 어떤 변화가 일어나는지 표면의 미세구조를 확인하기 위하여 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 적외선분광 분석

누전차단기 하우징의 표준 재료가 무엇인지 확인하기 위하여 적외선 분광 분석기를 측정하여 흡수

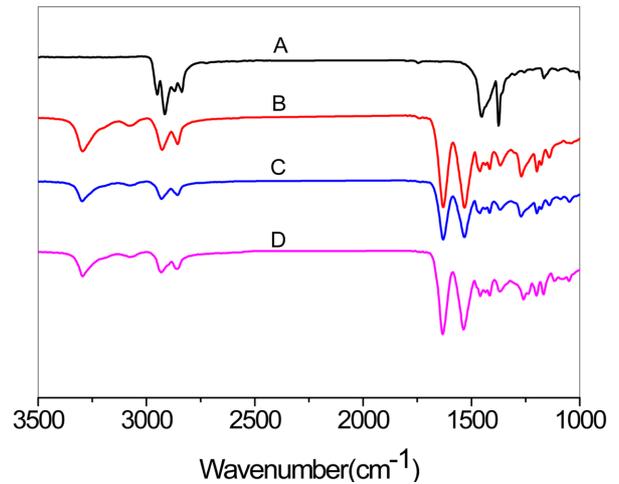


Fig. 2. FT-IR/ATR spectra of RCD's housing (Standard).

피크를 조사하였다(그림 2). A사의 경우 C-H peak (약 2900 cm<sup>-1</sup>), CH<sub>2</sub> peak (약 1460 cm<sup>-1</sup>) 및 CH<sub>3</sub> peak (약 1375 cm<sup>-1</sup>)에서 흡수가 일어나는 것으로 보아 Polypropylene임을 확인하였으며, B, C, D사의 경우는 amides의 NH group이 3100~3500 cm<sup>-1</sup>, C-H stretching 은 약 3000 cm<sup>-1</sup>, C=O group이 1520~1720 cm<sup>-1</sup>에서 확인되었으며, Nylon 계열의 재료임을 확인하였다.

3.2 노출 후 색차 및 광택 측정

그림 3은 다양한 내후성 시험조건 별 노출시간에 따른 색차지수 값을 나타내었다. A, C사의 경우 세 가지 시험조건에 따라 매우 유사한 경향을 보였다. 이것은 photo-degradation 현상이 main material이 다른 두 sample의 영향보다는 외관의 색상 및 코팅, 첨가제의 영향이 더 큰 것으로 판단된다. 색차지수

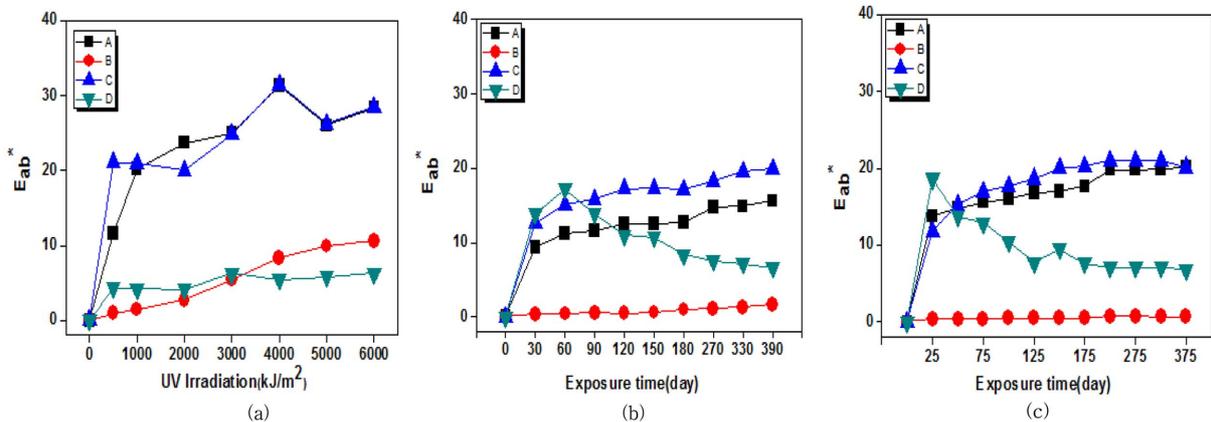


Fig. 3. Color of difference on the weathering test method (a) xenon-arc test (b) outdoor test 90degree and (c) outdoor test 37degree.

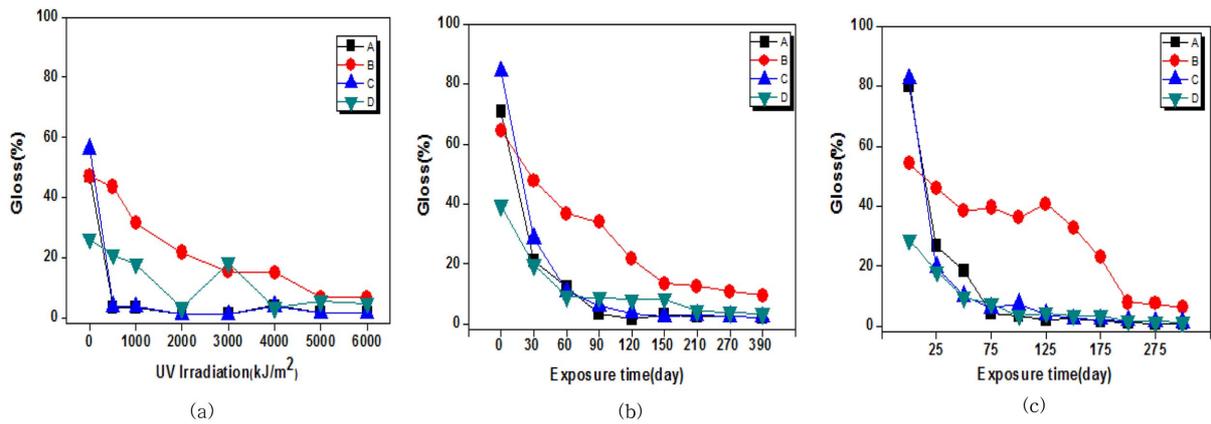


Fig. 4. Gloss on the weathering test method (a) xenon-arc test (b) outdoor test 90degree and (c) outdoor test 37degree.

$\Delta E$ 값은 실내축진시험의 경우 약 30정도(그림 3(a)), 옥외폭로시험의 경우는 약 20정도로 변화하였다(그림 3(b), (c)). B사는 색차지수  $\Delta E$ 값의 변화 폭이 0에서 2 사이로 매우 미비하였다. 이러한 결과는 하우징 색상 및 코팅에 의한 영향으로 판단된다. 또한, 다른 경쟁사 제품보다 내후성이 가장 좋았다. 이것은 하우징 표면에 자외선 흡수제나 광 안정제 등을 사용한 것으로 사료된다. D사는 옥외폭로시험의 경우 초기 평가주기에  $\Delta E$ 값이 0에서 약 20정도 큰 폭으로 증가하지만 그 이후로는 다시 떨어진다(그림 3(c)). 이러한 실험 결과는 차단기 하우징 표면에 있던 기존 물질들이 탈락되면서 새로운 층이 형성되는 과정으로 판단된다.

또한, 옥외폭로시험 90도와 37도의 경우 각각 30일 25일 경과 후 색차 값이 크게 변화하지만, 실내축진시험의 경우 변화폭이 크지 않은 것을 알 수 있다. 이것은 500kJ에서 색차지수 값이 옥외폭로 90도의 경우는 약 180일, 37도의 경우 125일 정도에 비슷한 값을 가진다. 따라서 옥외폭로시험의 경우 초기 standard에서 180일, 125일 사이 주기에 나타난  $\Delta E$ 값들이 xenon-arc시험에서는 이러한 과정들이 포함되었다고 볼 수 있다.

광택의 경우 평가주기 기간에 따라 광택 값이 전반적으로 100%에서 0%까지 떨어지는 것을 확인할 수 있다(그림 4).

비교적 A, C, D사의 경우 시험방법에 상관없이 매우 비슷한 경향성을 가진다. B사의 경우 다른 제조사보다 광택에 대한 저항성이 약 20% 정도 좋은 것을 확인할 수 있다. 이것은 색차평가와 동일하게 B사가 우수하다는 것을 확인하였다.

실내축진시험의 경우 500 kJ(그림 4(a)), 폭로각도 90도 옥외폭로시험의 경우 90일(그림 4(b)), 폭로각도 37도 옥외폭로시험의 경우 75일(그림 4(c))에서

광택유지율이 0에 가까웠다.

또한, 하우징 표면에 코팅을 입힌 차단기가 상대적으로 D사와 같이 코팅이 없는 차단기보다 초기 광택율이 약 50% 정도 높았다. 이러한 실험결과로 보아 코팅이 유무에 따라 광택유지율의 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

이러한 색상의 변색과, 광택의 급격한 저하로 표면에서 광분해가 일어났음을 알 수 있으며, 표면에서의 stress로 인한 균열 형성이 깊어질수록 색상은 진한색으로 변한다. 이와 같은 색상을 변화시키는 것은 주로 400nm이하의 단파장인 자외선영역에서 주로 일어난다. 따라서 이런 현상을 방지하기 위해서는 차단기 외함(housing)의 색상을 B사와 같이 밝은 계열로 바꾸거나, 내후성이 좋은 것으로 알려진 Methyl methacrylate를 병행하여 사용하거나, 자외선 안정제 및 산화 방지제를 사용하는 방법이 있다.

### 3.3. 노출 후 접촉각 측정

내후성 시험방법에 따른 접촉각 측정 결과 평가주기에 따라서 초기 접촉각에 비해 50%이상 떨어지는 것을 확인하였다(그림 5).

폭로각도 90도 옥외폭로시험방법의 경우(그림 5(b)) 대체적으로 A, B, C사는 D사에 비해 접촉각이 약 20도 정도 차이가 났으며, 폭로각도 37도 옥외폭로 시험방법(그림 5(c))은 약 50도 이상 차이가 나타났다. 실내축진시험의 경우(그림 5(a)) A, B, C의 경우 3,000 kJ이후에 접촉각이 급속히 떨어졌으며, D사는 1,000 kJ에서 0도로 감소하였다. 대체적으로 D사가 초기각도 80도에서 0도로 감소하였으며, 실내축진시험의 경우 500 kJ, 옥외폭로 90도는 270일, 옥외폭로 37도는 50일에서 급격히 감소하였다. 이러한 결과는 하우징 표면이 광 열화에 의해 균열, 첨가제들의 표면이행으로 인한 결과로 사료된다. 즉,

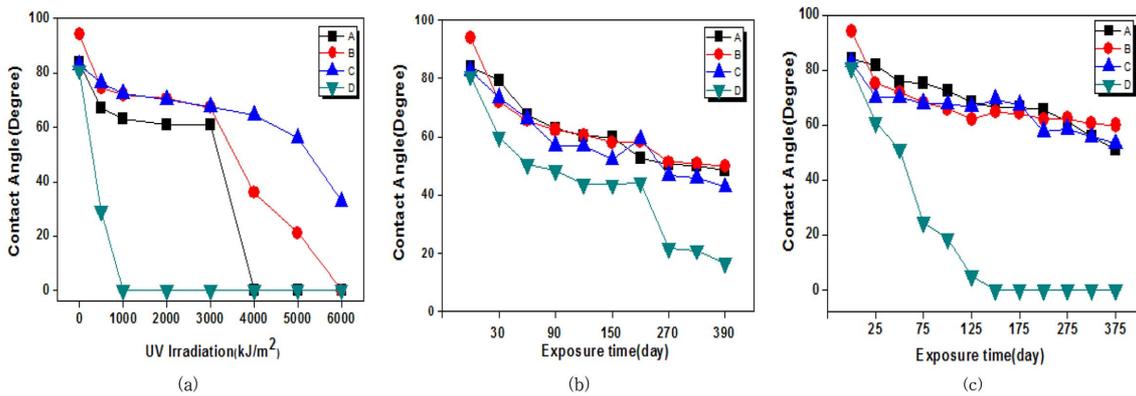


Fig. 5. Contact angle on the weathering test method (a) Xenon-arc test (b) Outdoor test 90degree and (c) Outdoor test 37degree.

자외선에 의해 산화가 표면층에만 제한 된 것이 아니라 산화에 의해 도입된 작용기가 깊이 있게 존재 하기 때문이며, 표면층이 매끄럽지 못하고 다른 첨가제들의 표면이행으로 인한 불규칙적인 표면 및 균열에 의해 물이 빠르게 흡수되어 100% wetting 되는 것으로 판단된다. 대부분 자외선 영향으로 인해 접촉각이 작아진다. 이것은 표면에 극성을 가진 성분이 증가했다는 것을 의미하며, 자외선 처리로 극성을 갖는 친수성기가 생성된 것이다<sup>5-7)</sup>.

### 3.4 노출 후 표면분석

누전차단기 하우징을 Xenon-arc에 6,000 kJ까지 열화 시킨 후 광학현미경을 이용하여 조사하지 않은 standard sample과 비교하였다(그림 6). 시간에 따른 UV 변화에 따라 각 제조사마다 다른 표면손상변화를 관찰할 수 있었다. A사와 C사의 표면은 UV 노출 후 목분 등이 관찰되었으며((a)(b)), B사는 표면에 균열(crack)이 발생되었으며(c), D사의 경우는 유리섬유 및 균열 등을 발견하였다(d). 각 제조사들의 표면은 매우 거칠며, 다른 첨가제, 보강제등이 발견되었다. 이러한 표면의 변화는 광 분해(photo-degradation)에 의해 하우징 표면층이 벗겨지면서 표면 내부에 있던 첨가제들이 표면탈락에 따라서 표면층으로 이행됨에 따라 야기된 것으로 판단된다. D사의 경우는 표면 취성화(surface embrittlement)로 인해 초기 표면보다 딱딱해졌으며, 백화(whitening) 현상이 발생되었다. 따라서 앞에서 관찰된 접촉각과 비교 시 D사는 xenon arc 실험방법의 경우 500 kJ, 37도 옥외폭로시험의 경우 270일, 90도 옥외폭로시험의 경우 50일 이후 차단기 하우징 표면에 균열발생으로 인하여 각도가 급격히 감소하였다.

보통 차단기 재료는 BMC (Bulk molding compound) 라는 물질로 불포화폴리에스테르수지, 저수축제, 경화제, 충전제, 이형제 등을 Kneader을 사용하여 균

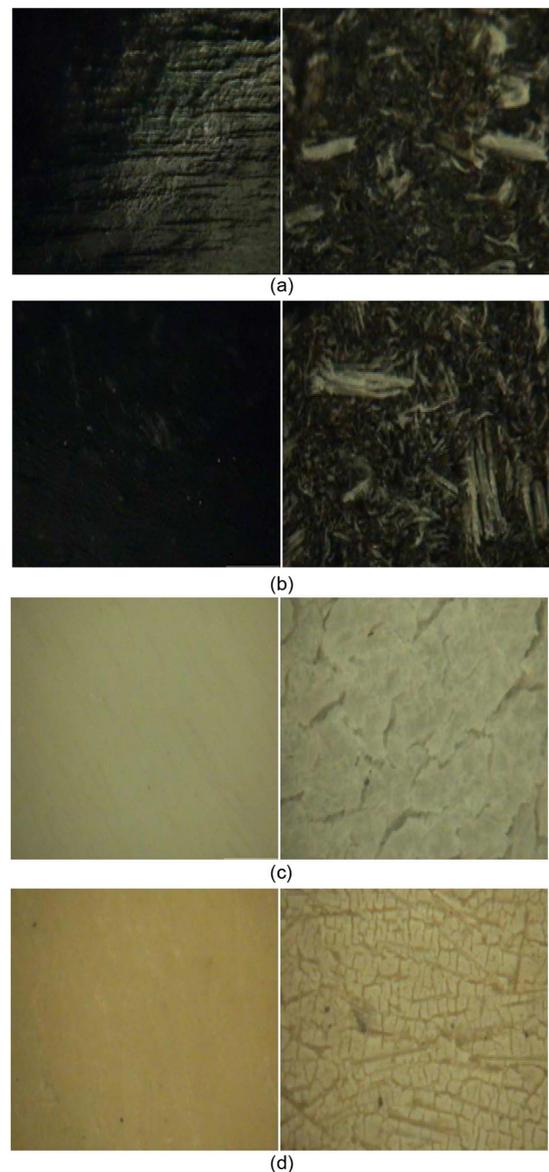


Fig. 6. Optical microscope( $\times 300$ ) of a standard sample surface(left), sample surface aged under xenon-arc conditions for 6000kJ(right) (a) A manufacturing company (b) C manufacturing company (c) B manufacturing company (d) D manufacturing company.

일하게 혼합 후 이 matrix에 보강재로서 섬유(주로 유리섬유)를 빠른 시간 내에 함침시켜 bulk상의 열경화성 강화 플라스틱으로 만든다. 이러한 차단기 외함의 표면은 약 10  $\mu\text{m}$  정도 두께에 유기층으로 형성되어 있으며, 그 안쪽으로는 유기물과 무기물이 혼재되어 있는 구조이며, 외부 조건에 따라 속도 차이는 있지만 대부분의 차단기들이 시간 경과에 따라 표면은 광택을 잃고, 색상은 노란색으로 변화되며, 물리적, 화학적 성질은 저하되게 된다.

따라서 외부의 복합적인 환경인자로 인하여 누전 차단기 외함의 균열 및 친수성 성질 변화로 인하여 차단기 외함에서 내부단자로 수분이나 빗물이 침투하는 경로가 되기 때문에 제 2차 사고가 발생할 확률이 매우 높기 때문에 차단기 하우징에 대한 재료의 개선이 필요하다고 판단된다.

#### 4. 결 론

누전차단기와 같은 절연재료의 표면에 영향을 주는 오염인자는 온도, 습도, 수분, 이온성 물질, 먼지, 자외선, 산성비 및 염해, 미생물등 여러 가지 인자들이 있다. 이러한 복합적인 요인으로 인해 차단기 외함은 물리적, 화학적 변화가 일어난다. 1차적 판정 기준은 색상의 변화와 광택의 급격한 저하로 표면에서 광분해가 일어남을 알 수 있으며, 접촉각은 열화의 진행에 따라 소수성에서 친수성으로 변함에 따라 접촉각이 약 90도에서 0도로 변하는 것을 확인할 수 있었다.

결론적으로 4개 제조사 중 D사가 내후성에 매우 취약하였으며, B사가 내후성이 좋다는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 주 재료에 의해 기인된 것이 아니라 표면 코팅 및 색상의 차이에 의해

나타나는 것으로 판단된다.

따라서 향후 차단기 외함의 색상 및 내후성에 강한 재료를 제조하기 위해서는 어두운 계열의 색상보다는 B사와 같은 밝은 계열(gray)로 색상을 변화시킬 필요성이 있으며, 자외선을 흡수하여 가역적인 반응을 일으켜 열화를 방지하는 자외선 흡수제나 산화에 의한 라디칼 제거제로 작용하여 자동산화물을 방지하는 광안정제를 사용하는 것이 필요하다고 판단된다.

본 연구 결과는 수용가 및 해안지역, 도서지역의 누전차단기 외함의 제품개발 및 성능평가를 위한 기초자료로 활용 될 것으로 기대하며, 자연열화에 의한 전기적 사고를 사전에 방지하기 위한 현장에서 휴대용 색차계 및 광택계를 활용할 수 있는 가장 적합한 성능평가 및 차단기 제품개발 향상에 도움이 될 것으로 판단된다.

#### References

1. S. C. Kim, J. H. Lee, S. Hwangbo, D. Y. Yi, M. K. Han, KIEE(Korea), 49 (2000) 302.
2. H. R. Kim, D. O. Kim, H. S. Kim, C. S. Choi, H. Kim, KIEEME(Korea), (2001) 878.
3. C. H. Lee, K. J. Ok, S. K. Kim, S. W. Jee, Korea Instituts of Fire Sci & Eng. 22 (2008) 67.
4. W. K. Han, H. K. Kim, H. J. Gil, K. H Lee, C. S. Choi, KIEE (Korea), (2005) 2019.
5. N. H. Choi, S. I. Han, S. O. Han, K. S. Park, J. S. Kim, Y. B. Park, KIEEME (Korea), (1997) 221.
6. Y. H. Kim, Prospectives of Industrial Chemistry, 8 (2005) 82.
7. H. Y. Choi, J. S. Lee, Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles, 29 (2005) 561.