Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 16, No.4, pp. 30~37 July 2002 논문 16-4-5

Cycloaliphatic계 에폭시 절연재료의 옥외성능에 미치는 충전재 및 첨가물의 영향

(Effect of Filler and Additives on Performance of Cycloaliphatic Epoxy Used for Outdoor Insulators)

연복희* · 박충렬 · 허창수 · 심대섭
(Bok-Hee Youn · Chung-Ryul Park · Chang-Su Huh · Dae-Sub Shim)

요 약

본 논문은 옥외용 절연재료로 사용되는 싸이클로알리파틱계 에폭시 재료의 여러 가지 컴파운드 비에 따른 내후성, 내트래킹 및 염무시험 결과를 나타낸 것이다. 시험 결과, 내후성 시험 동안의 자외선 조사로 인하여 표면에 결합쇄의 절단으로 표면 발수성 손실이 나타났다. 자외선 차단제와 산화안정제 및 실리콘 오일 첨가제가 포함된 시료에서 내후성이 우수한 것으로 나타났으며, 충전재 중 ATH가 포함된 시료에서 내트래킹성의 향상을 확인하였다. 염무시험에서는, 에폭시 수지 내에 실리콘 오일 성분이 포함된 시료가 누설전류 억제 효과를 나타내었다. 본 논문을 통하여 옥외용 절연재료로 사용되는 싸이클로알리파틱 절연재료의 옥외성능에 실리콘 오일성분이 표면에너지를 낮추고 발수성을 오랜 기간 유지할 수 있어 옥외 성능에 바람직함을 알 수 있었다.

Abstract

This paper reports on the results of weathering test, tracking test and salt-fog test of various kinds of cycloaliphatic epoxy systems. UV irradiation dramatically induced the loss of surface hydrophobicity due to the chain scission attack at the surface under UV irradiation. It could be seen that samples containing an UV absorbent/antioxidant and a silicone oil additive have a good performance in weathering test, while ATH(alumina tri-hydrate) filled ones have high resistance against tracking failure than others. Under salt fog chamber test, specimens mixed with silicone oil are able to suppress leakage current development. It was thought that silicone oil mixed into cycloaliphatic epoxy system could lead to lower the surface energy and to retain hydrophobic properties for a long time, which are desirable for outdoor use.

Key Words : Outdoor insulator, Cycloaliphatic epoxy, Weatherability, Tracking, Salt-fog chamber

1. 서 론

고분자 절연재료는 기존의 자기 및 유리 절연재료에 비해 사용환경에 따라 전기 및 환경스트레스에 의한 경시적인 변화가 뚜렷하게 나타난다. 환경스트레

* 주저자 : 인하대학교 전기공학과 박사과정
Tel : 032-860-7391, Fax : 032-863-5822
E-mail : g1991139@inhavision.inha.ac.kr
접수일자 : 2002년 4월 3일
1차심사 : 2002년 4월 8일
심사완료 : 2002년 6월 27일

스로는 자외선, 열, 산성비 및 오염물 등이 있으며, 이러한 영향 중에 전기적 스트레스가 인가되어 성능이 저하하는 열화특성을 조사하는 것은 절연파괴사고 방지의 관점에서 매우 중요하다[1]. 또한, 옥외에 사용되는 고분자 절연재료의 장기신뢰성 확보에는 환경스트레스와 내트래킹성 및 내후성에 관한 많은 연구가 필요하다. 옥외용으로 사용하는 고분자절연재료에는 실리콘 고무, EPDM, EVA 및 각종 블랜드가 있으며, 그 중에서도 에폭시 수지는 다른 유기재료에 비해 절연성이 좋고, 성형 후의 내부결함이 적으며, 조성에 있어서도 균일하기 때문에 옥내 · 외 및 고 · 저전압에 폭넓게 사용되는 전기절연재료 중의 하나이다. 최근 많이 사용되고 있는 기존 고무절연재료의 경우 원하는 기계적 강도를 얻기 힘들기 때문에 옥외에 적합한 에폭시 수지를 사용하면 절연체 신뢰성 향상 및 설비 안정성 확보에 기여할 것이다. 에폭시 수지는 그 자체의 화학적 구조, 경화제와 무기충전재의 종류, 충전재와 수지의 계면처리방법에 따라 많은 종류가 있으며, 사용환경에 따라 최적의 재료를 선정하여야 한다. 우수한 내환경성, 내트래킹성이 요구되는 옥외용 고전압절연의 분야에서는 실리카가 다량 충진된 싸이클로알리파틱(cycloaliphatic)계 에폭시가 사용되고 있다. 현재까지, 매트릭스 수지로서의 싸이클로알리파틱계 에폭시 수지의 여러 가지 환경스트레스에 의한 열화특성 평가가 이루어져 왔지만, 정확한 첨가제 및 충전재에 따른 성능평가가 이루어지지 않아 옥외절연재료에 적합한 컴파운드의 확립이 필요한 실정이다[1~3]. 그리하여 본 논문에서는 에폭시 재료의 첨가재와 충전재에 따른 내후성, 내트래킹성 및 salt-fog 시험을 통하여 옥외성능에 적합한 첨가물 종류, 배합조건 및 고성능화에 기여하고자 하였다.

2. 시험 방법

2.1 시 료

본 연구에서 사용한 에폭시 시료는 각종 충전재 및 첨가제가 포함된 글리시딜에스테르(glycidyl ester)계 에폭시수지이다. 이의 분자 구조를 그림 1에 나타내었다. 이 분자구조는 경화 전이며, 실제의 시료는 경화제로 에폭시기가 개환반응하게 된다. 배합에 따른

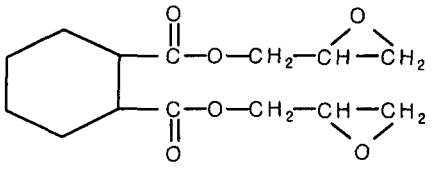

그림 1. 글리시딜 에스테르 싸이클로 알리파틱 에폭시 수지의 분자 구조
Fig. 1. Molecular structure of glycidyl ester cycloaliphatic epoxy resin

표 1. 배합선정재료
Table 1. Compound materials

기호	재 료 명	기호	재 료 명
A	Resin 1	I	Silanated SILICA(DRY, 1.2%)
B	Resin 2		
C	Resin 3	K	Silanated SILICA(WET, 2%)
D	Hardener	L	Silanated SILICA&ATH(DRY, 1%)
E	TINUVIN-P. IRGANOX-1010		
F	Silicone oil 1	X	Filler content = 60%
G	Silicone oil 2	Y	Filler content = 74%
H	Silanated SILICA (WET, 1%)		

표 2. 시료별 첨가제 및 충전재 배합비
Table 2. Compound specification of samples with additives and fillers

시료	선정재료 및 배합비 (phr)	시료	선정재료 및 배합비 (phr)
EP01	ADKY 100/90/341	EP07	ADGHX 100/90/0.25/262
EP02	Commercial Product	EP08	ADFHX 100/90/0.5/262
EP03	ADHX 100/90/262	EP09	ADIX 100/90/262
EP04	BDHX 100/80/249	EP10	ADELX 100/90/0.6,0.6/105,135
EP05	ACDHX 85/15/92/166	EP11	ADKX 100/90/265
EP06	ADEHX 100/90/0.6,0.6/265		

시료종류를 표 1과 표 2에 나타내었다. 시료들은 에폭시 수지의 종류, 충전재(ATH 입경 1[㎛], 실리카 입경 1.6[㎛]) 표면 처리방법(습식 및 건식), 실리콘 오일첨가, 충전재 첨가정도(phr)를 달리하여 준비하였는데, 상용 제품인 EP02 시료를 모든 시험평가의 기준으로 삼았다. 사이클로알리파틱계 에폭시수지와 충

전재는 혼합하기 전에 80[℃]에서 건조 처리한 다음 사용하였다. 또한, 고체 상태인 경화제를 35~38[℃]에서 용해시켜 첨가하고 진공분위기에서 강력한 교반기를 이용하여 혼합시켰다. 주형하기 전에 촉진제를 첨가하고, 진공분위기에서 교반하면서 탈포공정으로 기포를 완전히 제거하였다. 에폭시수지는 접착력이 강하기 때문에 금속 금형을 사용할 경우 이형이 어려워 주형하기 전에 내열도 100[℃]이상을 가지는 이형제를 상·하부 금형에 도포하여 고화시킨 후 수지의 온도보다 성형 금형의 온도를 더 높게 70[℃]의 분위기에서 예열시킨 다음 주형하여 경화하였다. 시료의 형상은 120×50×6.0[㎜]의 판상으로 하였으며, 그 형상으로 내후성, 내트래킹성 및 salt-fog시험을 수행하여 옥외성능의 적합성을 평가하였다.

2.2 자외선 처리

자외선은 광에너지가 높아 옥외용 고분자 절연재료를 산화시켜 쵸킹(chalking)현상이나 크랙킹(cracking) 현상을 일으키는 것으로 알려져 있다[1,4]. 본 연구에서는 형광 UV-B type lamp가 장착된 내후성 시험기(QUV-accelerated weathering tester, Q-panel 社)에 시료를 노출시켰다. 자외선 처리는 최대 1000시간 동안 수행하였는데, 처리기간을 6시간은 자외선 조사, 2시간은 시료에 물방울이 맺히는 응축(condensation)주기로 하여 8시간을 한 싸이클로 하고, 이를 반복 수행하였다[5]. 자외선 조사 주기 중, 최대 방사파장에서 자외선 조사강도와 분위기 온도는 각각 0.65[W/㎡/㎚]와 50[℃]로 자동조절하였으며, 응축주기는 수돗물이 필터를 통해 자외선 램프 아래 수조에 채워지고, 챔버온도가 40[℃]로 유지됨에 따라 수분이 시료에 응축되게 하였다. 이렇게 처리된 시료의 내후성 평가를 위해 처리표면에서 접촉각을 측정하였는데, 탈이온수 2[㎕]를 마이크로 적하장치를 이용하여 원하는 위치에 떨어뜨린 후, 10초 이내에 측정하였다. 정적접촉각을 동일 시료에서 5회 이상 측정하여 평균값을 나타내었다.

2.3 내트래킹성 판정

옥외에서 전계가 인가되어 있는 유기절연재 표면에서는 여러 가지 전기적 방전으로 생긴 탄화생성물에 의해 탄화로가 형성되어 표면 절연파괴를 일으키는데 이를 트래킹(tracking)이라 한다. 시료의 내트래킹성은 IEC Publication 587에 따라 시험하여 판정하였다[6]. 시험전압은 교류 4.5[kV]로 일정하게 하였고 최대시험시간은 6시간으로 정했으며, 60[㎃]이상의 전류가 2초간 연속적으로 흐를 때의 시간과 시료가 완전히 아래 방향으로 침식되어 관통된 시간을 파괴시점으로 정의하였다. 본 연구에 사용된 오손액은 0.1[wt%] NH_4Cl 수용액과 비이온계 계면활성제 isooctylphenoxypolyethoxy-ethanol을 0.02[wt%] 첨가하여 오손액 전도도를 23[℃]에서 3.95±0.05[Ω/min]으로 조절하였고, 오손액의 유량은 0.6[㎖/min]으로 일정하게 하였으며, 33[kΩ]의 직렬저항을 연결하여 시료에 흐르는 누설전류를 제한하였다. 시험 후, 트래킹 파괴시간과 트래킹진전길이, 침식깊이 등을 측정하여 시료의 내트래킹성을 평가하였다.

2.4 Salt-fog 시험

Salt-fog 시험은 실제적인 옥외 절연물의 성능평가를 위해 전도도를 가진 안개 입자를 분무하며 전압을 인가하여 건조대 아크에 의한 열화상태를 파악하는 시험으로 재료의 특성 및 절연물의 형상에 따른 연구에 있어서 매우 좋은 방법으로 알려져 있다[1,7,8]. 본 연구에서 사용한 salt-fog 챔버에는 가습 용도의 압축 공기 분무식으로 최대한 자연상태의 안개를 구현할 수 있도록 입경 10[㎛]의 노즐을 설치하였고, 아크릴으로 설치하여 시료의 방전형태를 관찰할 수 있도록 하였다.(그림 2) 또한, 챔버 자체를 3° 기울여, 분사된 물을 드레인시켰으며, 전향판을 설치하여 분사된 fog가 직접적으로 시료에 미치지 않도록 하였다. 시료 표면에 50[㎜] 간격을 띤 전극사이에 3[kV]전압을 인가하여 60[V/㎜]의 평균전계로 조절하였다. 표면을 따라 흐르는 누설전류 측정을 위해 데이타 취득 시스템을 구성하였는데, 전류 10[mA]가 흐를 때, 1[V]이하의 전압이 인가될 수 있도록 100[Ω]의 저항을 shunt 저항으로 사용하였으며, 취득 시스템 보호를 위해 제너다이오드를 사용하여 회로를 보호하였다. 측정장치는 제품명 PCI-20428 [W](Intelligent Instrument 社), 분해능 16bit, 변환속도 최대 2[MHz]의 성능을 가진 다기능 보드로 PC와 연결하여 구성

하였고, 데이터 저장을 위해 Visual Designer 프로그램을 이용하여 상시 누설전류 파형과 평균값 파형을 저장하게 하였다. 분무된 염수는 수돗물에 화학용 NaCl을 첨가하여, 용액의 전도도를 1000[μS/cm]로 조절하였다.

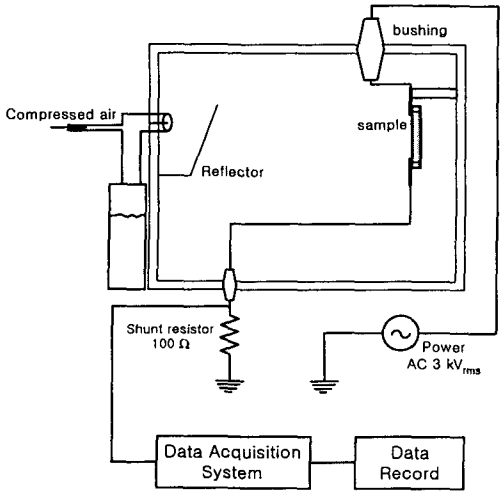

그림 2. Salt-fog 챔버의 개략도
Fig. 2. Experimental schematic for salt-fog test

3. 실험결과 및 고찰

3.1 자외선 조사

옥외용 폴리머 절연재료에서 열화인자 중 가장 문제시 되는 것은 자외선으로 인한 것이다. 자외선은 지표에 도달하는 태양광 중 약 5[%] 정도만을 차지하지만, 광에너지가 높아 폴리머 절연재료의 결합에너지보다 높을 경우 폴리머의 결합쇄를 절단하여 열화를 개시하게 된다. 이러한 자외선 열화는 옥외용 폴리머 절연재료 표면에 크랙이나 쵸킹형태의 열화현상을 일으키는 것으로 알려져 있다[1,8].

그림 3은 각 시료에서 자외선 조사에 따른 표면 접촉각의 변화를 나타낸 것이다. 표면 접촉각은 표면에너지로 결정되는데 표면의 극성에 따라 크게 변화한다[9]. 그러므로 접촉각을 측정하면 표면의 극성 및 산화정도를 예측할 수 있어, 옥외용 폴리머 절연재료의 평가 인자로 많이 사용하고 있다[1,8]. 그림에서 보는 바와 같이 초기 접촉각이 유사했던 초기시료들이 자외선 조사시간이 500에서 1000시간에 이르면서 대부분 감소하였음을 알 수 있었다. 이처럼 고에너지의 자외선 조사로 표면 발수성이 저하하는 것은 에폭시 절연재의 주쇄가 C-C 결합인데, 본 실험에서 사용한 자외선 램프의 주파장이 270[nm]에서 313[nm]까지에 이르기 때문에 에너지로 환산하면 443 [kJ/mol]에서부터 382[kJ/mol]에 이른다. 이러한 에너지는 에폭시 주쇄의 C-C(348[kJ/mol])와 C-H(414 [kJ/mol])의 평균 결합에너지를 고려하였을 때, 주쇄 및 측쇄기가 절단되고, 그 절단된 부분에 반응성 산소기의 부착으로 표면에너지가 높아졌기 때문이다. 하지만, EP08번 시료는 초기시료가 109.5[°]정도였는데, 1000시간 내후성 시험을 거친 시료는 108.7 [°]를 나타내어 발수성에 거의 변화가 없었다. EP08시료에는 전기절연용 디메틸실록산(dimethyl siloxane) 오일이 포함된 것으로 저분자량의 실리콘 오일성분이 표면으로 확산되어 자외선의 영향을 차단한 것으로 보인다. 특히, 실록산(Si-O, 447 [kJ/mol]) 결합쇄는 주쇄 결합력이 강해 자외선 에너지에 결합쇄가 절단되지 않을 뿐만 아니라, 주쇄가 유연하여 발수성 유지역할을 하는 메틸($-CH_3$) 측쇄기를 표면 쪽으로 배향시킬 수 있기 때문에 발수성의 유지력이 뛰어난 것으로 알려져 있다[9~11]. 같은 실리콘 오일이라도 측쇄기에 관능기를 가지고 있어 에폭시기와 반응할 수 있는 실리콘 오일성분을 첨가한 EP07시료도 다른 시료에 비하여 자외선 조사로 인한 접촉각 저하현상이 작게 나타났지만(109.3[°] ⇒ 72.79 [°]), EP08번 시료처럼 초기 값을 유지하지는 못했다. 이는 낮은 표면에너지를 갖는 실리콘 유제성분이 주쇄들과 결합되어 표면으로의 확산이 확보되지 못했기 때문으로 판단된다. EP06과 EP09 시료를 비교하면, 자외선 차단제와 산화안정제의 효과를 알 수 있는데 EP06 시료는 초기시료 접촉각 102.5[°]에서 72.6[°]까지 감소한 반면, EP09는 102.9[°]에서 50.8[°]까지 감소하였다. 대체적으로 고에너지의 자외선 조사로 인하여 발수성 변화가 큰 것은 자외선 흡수제(E,TINUVIN-P) 및 산화안정제(IRGANOX-1010)가 첨가되지 않은 시료들과 실리콘 오일이 첨가되지 않은 시료들이었으며, 충전재의 첨가량과 표면처리 방법은 표면 발수성 유지에 큰 영향

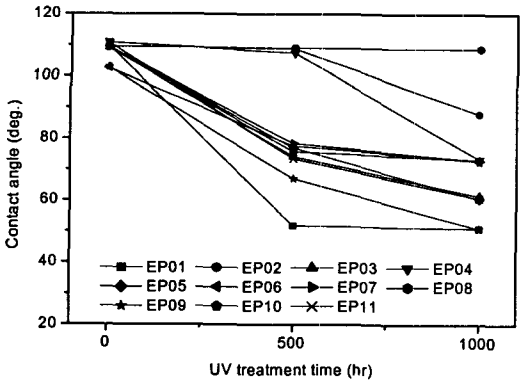

그림 3. 자외선 조사에 따른 표면 접촉각의 변화
Fig. 3. Change of contact angle with a longer UV treatment time

은 없는 것으로 나타났다. 자외선 조사로 인하여 표면 특성이 변화하는 것은 산화되어 점차 극성기가 도입되기 때문이다. 그림에서 보는 바와 같이 같은 모재라도 배합에 사용된 충전재 및 각종 첨가제에 따라 자외선 조사에 따른 표면변화가 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있었다.

3.2 내트래킹성

고분자 절연재료의 옥외사용에 따라 가장 문제 시되는 것은 트래킹현상이다. 이러한 트래킹 현상은 표면이 오손된 상태에서 수분이 존재하게 되면, 오손물이 용해되어 전해질 상태가 되며 누설전류가 흐르기 시작한다. 이때, 저항성이 높은 표면의 전해질이 건조되어, 건조대가 형성되고 그 사이에 아크가 발생하여 표면에 영향을 주게 된다. 각종 방전으로 표면온도가 고온이 되면, 표면이 탄화되어 잔유물이 남고 표면을 따라 탄화경로가 생기게 된다. 이러한 기저 폴리머의 트래킹 현상을 좌우하는 것은 폴리머 분자에서 탄소결합을 분절시켜 탄화시키는데 필요한 에너지이며, 이 값이 작을수록 트래킹에 대한 내성을 지니지만, 첨가하는 충전재로 트래킹 현상을 어느 정도 제어할 수 있다[1,8]. 그림 4는 시료에 따른 트래킹 파괴시간을 나타낸 것으로, 시료별로 5개씩 파괴시간과 평균시간을 표시하였다. 트래킹 시험기준을 통과한 시료의 혼합비를 살펴보면, 실리콘 오일성분이 포함되어 있거나, ATH가 제 2의 충전재로 다량 사용된 시료 및 산화안정제가 포함된 것들이었다. 그림 5와 그림 6은 트래킹시험 종료 후 측정한 트래킹 진전길이와 침식깊이를 나타낸 것으로 대체적으로 트래킹 파괴시간이 짧은 것이 트래킹 진전과 침식이 심하게 나타난 것으로 나타났다. EP06과 EP10을 비교하면, 실리카 충전

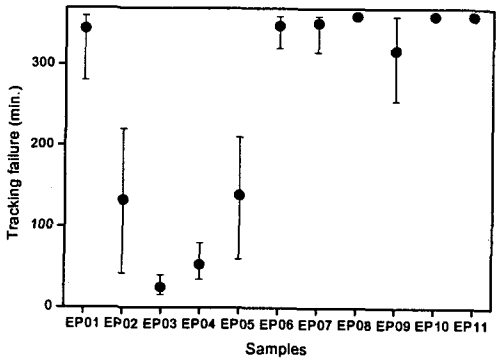

그림 4. 시료에 따른 트래킹 파괴시간 ● : 평균시간
Fig. 4. Time to tracking failure

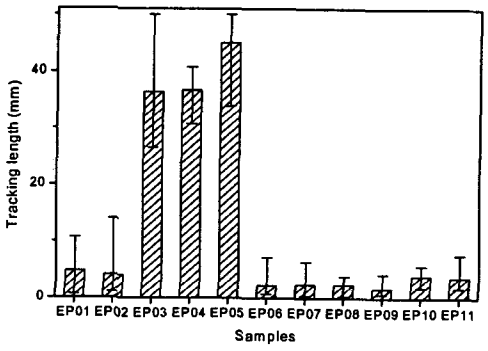

그림 5. 시료에 따른 트래킹 진전거리
Fig. 5. Tracking length at tracking failure time

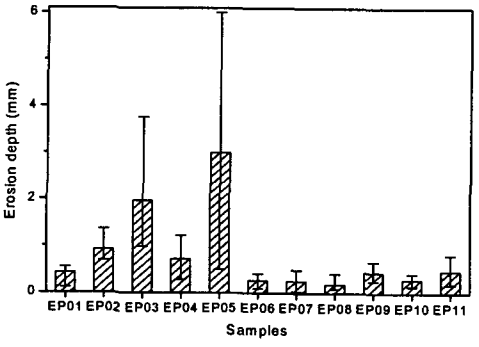

그림 6. 시료에 따른 침식 깊이
Fig. 6. Erosion depth at tracking failure time

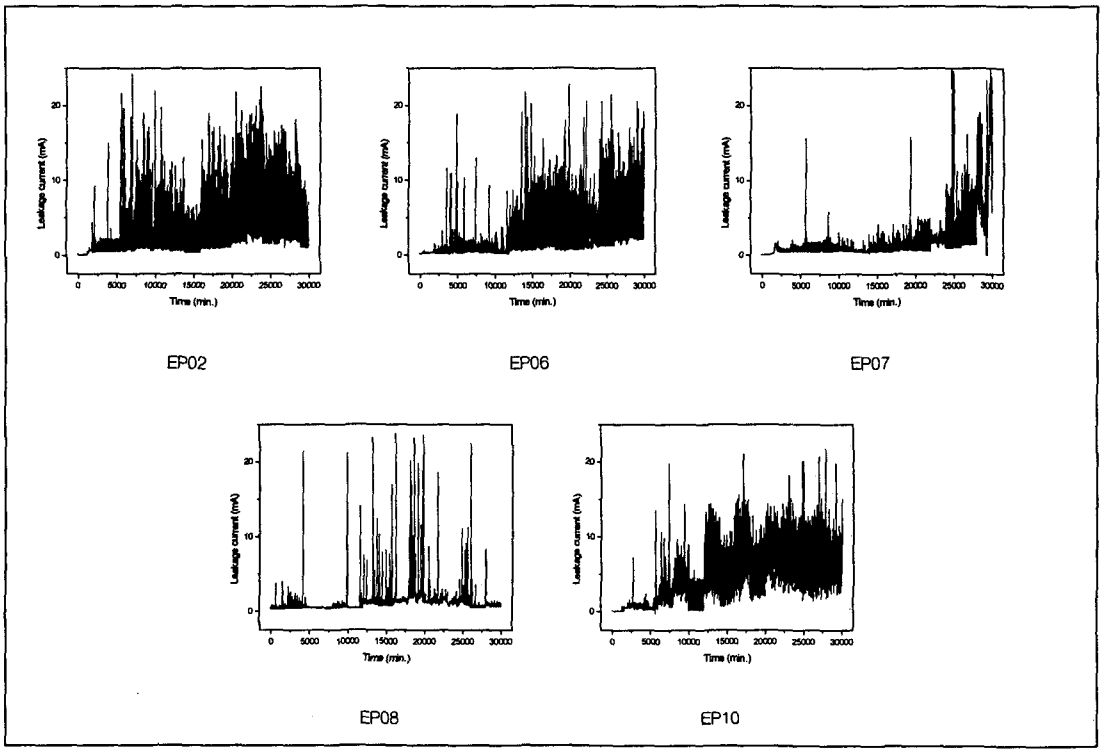

그림 7. 시료 별 염무 시험 중 누설전류의 변화
Fig. 7. Leakage current of various epoxy samples under salt-fog

재 포함량의 135[phr]를 대신하여 ATH가 사용된 시료로 ATH의 충전재 효과를 알 수 있다. ATH가 충진된 시료의 경우, 방전에 의해 국부적으로 고온이 되어 분자 사슬이 절단되고 유기기가 생기는데, ATH의 촉매작용을 받아 방전열과 전자충격의 영향과 함께 유기기와 해리된 결정수가 반응하여 일산화탄소나 휘발성 탄화수소를 형성한다. 또한, 수분의 기화에 따라 급격한 팽창작용과 마주쳐 탄화수소를 절연물 표면에 남기지 않는다. 이와 같이 산소가 유기재료 중 탄소의 연소를 도와 고체상의 탄화물을 남기지 않는 자기정화 메카니즘이 작용하여 내트래킹성이 향상되는 것이다[1]. 하지만, 에폭시 수지에 ATH 충전재를 첨가하면 유전특성에 문제가 있는 것으로 알려져 있다[12]. EP01(74[wt%])과 EP11 (60[wt%])은 충전재의 첨가량을 달리한 시료로 내트래킹성에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 하지만, 점도의 차이로 시료제작과정에서 고려되어야 하였다. EP09시료는 EP06시료에서 자외선 흡수제와 산화안정제가 포함되지 않은 시료로 트래킹 파괴시간이 약간 단축되었다. 실리콘 오일이 첨가된 EP07시료과 EP08시료는 대부분 트래킹파괴기준을 통과하여 내트래킹성이 우수한 것으로 나타났다.

3.3 Salt-fog 시험

옥외용 고분자 절연재료의 옥외사용에 따른 성능평가를 할 경우, 수분이나 오손물에 의한 영향을 검토하게 되는데 가장 일반적인 시험이 염무(salt-fog)시험이다. 이 시험은 옥외 사용에 따른 수분의 역할을 하는 비나 안개 중에서 비는 표면의 세정작용이 더 크게 되어, 실제적인 오손물의 용해에 따른 영향보다는 누설거리의 단축으로 섬락이 발생하는 것으로 생각된다. 하지만, 안개는 표면의 오손물을 녹여 표면에 건조대 아크를 발생시키는 주된 원인이 된다[1].

시험 중 염무 중에 노출된 시료의 방전 형태를 관

찰한 결과, 초기시료가 발수성을 유지한 경우는 물방울이 표면에 맺혀 누설전류가 흐르지 않게 되지만, 물방울 사이에 미소방전이 발생하게 되고 방전이 발생한 부분에 물방울이 퍼져 표면에는 점점 젖는 부분이 증가하게 된다. 어느 정도 젖는 부분이 생기게 되면 건조대가 윗 전극에서 시작되고, 수막은 아래 방향으로 흐르게 되며, 건조대 아크는 흐르는 물을 계속해서 건조시키게 된다. 하지만, 이는 점점 아래 전극부분으로 옮겨져 시간이 지남에 따라, 아래전극 바로 위 부분으로 방전이 집중된다. 이렇게 국부적인 방전으로 아래 부분부터 탄화되기 시작하며, 탄화부분에서 건조대 아크는 상부전극 쪽으로 점차 진전한다. 그리하여, 점차 표면에서 탄화 도전로가 길어지게 되며, 이로 인해 누설전류가 증가하게 된다. 시료마다 이러한 누설전류 증가 프로세스의 차이점은 없었지만, 수막이 형성되어 건조대가 형성되는 시간과 아크가 급진전하는 시간의 차이가 발생했다. 이는 재료에 따른 표면 발수성 유지력의 차이 때문으로 판단된다. 그림 7은 염무시험 중에 시료의 누설전류를 측정한 결과이며, 그림 8은 100시간 단위로 측정한 평균누설전류의 값을 나타낸 것이다. 실험대상으로 내후성 시험에서 우수한 EP08과 EP02를 대상으로 하였으며, 비교적 내트래킹성이 우수한 EP06, EP07, EP10번을 선정하여 500시간동안 염무 분위기에서 누설전류를 측정하였다. 내트래킹성이 우수하지만 자외선 조사로 인하여 발수성 변화가 큰 것은 제외하였다. 대체적으로,

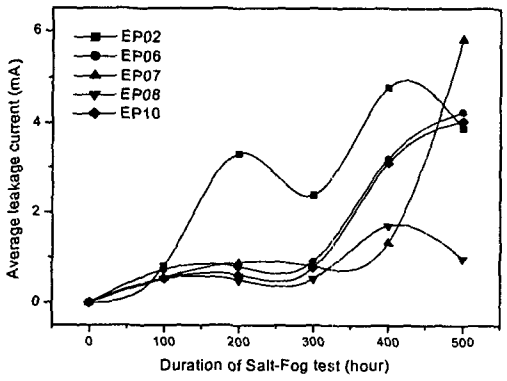

그림 8. Salt-fog 시험 중 100시간 단위로 측정한 평균누설전류 변화
Fig. 8. Average leakage current with 100 h interval under salt-fog

내트래킹성이 우수한 시료에서 누설전류가 작게 나타났으며, 특히 내후성 평가 후 발수성 유지에 우수한 특성을 보인 EP08시료가 1[mA]~2[mA] 사이의 작은 누설전류로 유지하였다. 이 시료는 실리콘 오일이 첨가된 것으로 발수성 유지력이 뛰어나 누설전류 억제효과가 나타난 것으로 판단된다. 동일하게 실리콘 오일이 첨가되었지만 말단 관능기를 가진 실리콘 오일을 첨가한 EP07시료는 초기에 누설전류가 작게 나타났지만, 400시간 이후에 급진전하여 5[mA]이상의 평균누설전류를 기록하여 다른 시료에 비해 높은 누설전류 값을 보였다. 이는 저분자량 실리콘 오일이 확산하여 나타나는 발수성 회복력이 에폭시 수지와 결합되어 누설전류 억제특성이 나타나지 못했기 때문으로 판단된다. EP10시료는 EP06시료에서 실란 처리된 실리카를 ATH 충전재로 약 135[phr] 교체한 시료인데 염무시험 동안 거의 동일한 평균누설전류를 나타내었다.

4. 결 론

충전재나 첨가제의 정도에 따른 싸이클로알리파틱 절연재료의 옥외평가시험 결과, 다음과 같은 연구결과를 얻을 수 있었다.

(1) 가속된 자외선 열화시험에서 대부분 에폭시 시료는 발수성이 저하하였으며, 이는 유기 에폭시수지의 주쇄결합이 비교적 약하여 표면 결합쇄가 절단된 후, 다수의 관능기가 발생되어 표면에너지가 높아졌기 때문이다. 하지만, 실리콘 오일이 첨가된 시료의 경우 발수성 유지가 뚜렷하였다.

(2) 내트래킹 시험에서는 실리콘 오일을 첨가한 시료와 ATH 충전재가 사용된 시료가 다른 시료보다 트래킹 파괴 저항성이 우수하게 나타났다.

(3) Salt-fog시험에서는 표면의 발수성 유지력에 따라 누설전류의 크기가 좌우되었다. 일반적으로, 에폭시 수지에 저분자량 실리콘 유제를 소량 첨가하므로써 고에너지의 자외선 조사에도 높은 발수성 유지를 관찰할 수 있었으며, salt-fog 시험 시 발수성 유지력이 뛰어나 장시간 누설전류 억제효과를 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(2000-1-30200-011-3) 지원으로 수행되었음.

References

[1] 조한구, 옥외용 고분자 재료의 내트래킹성과 그 요인에 관한 연구, 박사학위논문, 1995.
[2] S. Kumagai, W. Xinsheng, N. Yoshimura, "Thermal Ageing, Water Absorption and Their Multiple Effects on Tracking Resistance of Epoxy for Outdoor Use", T. IEE Japan, Vol. 118-A, No. 11. pp. 1255-1263, 1998.
[3] R. S. Gorur, J. Montesinos, "Electrical Performance of Cycloaliphatic Epoxy Materials and Insulators for Outdoor Use", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 15, No. 4, pp. 1274-1278, 2000.
[4] Y. Hirano, T. Inohara, M. Toyoda, H. Murase, M. Kosakada, "Accelerated Weatherability of Shed Materials for Composite Insulators", IEEE Trans. on DEI, Vol. 8, No. 1, pp. 97-103, February 2001.
[5] ASTM G 53, "Operating Light and Water Exposure Apparatus(Fluorescent UV Condensation) for Exposure of Non-metallic Materials", 1993.
[6] IEC Publication 587, "Test methods for evaluating resistance to tracking and erosion of electrical insulating materials used under severe ambient conditions, second edition", 1984.
[7] R.S. Gorur, E.A. Cherney, R. Hackam, T. Orbeck, "The Electrical Performance of Polymeric Insulating Materials under Accelerated Aging in a Fog Chamber", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 3, No. 3, pp. 1157-1163, July 1988.
[8] R. Hackam, "Outdoor HV Composite Polymeric Insulators", IEEE Trans. on DEI, Vol. 6, No. 5, pp. 557-585, 1999.
[9] H. Homma, T. Kuroyagi, K. Izumi, C. L. Mirley, J. Ronzello, S.A. Noggs, "Diffusion of Low Molecular Weight Siloxane from Bulk to Surface", IEEE Trans. on DEI, Vol. 6, No. 3, pp. 370-375, 1999.
[10] T. Tokoro, R. Hackam, "Loss and Recovery of Hydrophobicity and Surface Energy of HTV Silicone Rubber", IEEE Trans. on DEI, Vol. 8, No. 6, pp. 1088-1097, 2001.
[11] H. Hillborg, U.W. Gedde, "Hydrophobicity Changes in Silicone Rubbers", IEEE Trans. on DEI, Vol. 6, No. 5, pp. 703-717, 1999.
[12] C. C. Ku, R. Liepins, Electrical Properties of Polymers - chemical principles - , Hanser Publisher, pp. 102-186, 1988.
[13] S. Kumagai, N. Yoshimura, "Electrical and Environmental stress and the Hydrophobicity Stability of SIR, EVA and their Blends", IEEE Trans. on DEI, Vol. 8, No. 4, pp. 679-686, August 2001.
[14] N. Yoshimura, S. Kumagai, S. Nishimura, "Electrical and Environmental Aging of Silicone Rubber Used in Outdoor Insulation", IEEE Trans. on DEI, Vol. 6, No. 5, pp. 635-650, October 1999.
[15] 연복희, 이태호, 이종한, 허창수, "자외선 조사된 HTV 실리콘 고무의 표면열화 분석", Journal of KIEEME, Vol. 13, No. 5, pp. 411-419, May 2000.

◇저자소개◇

연 복 희(延福熙)
1974년 12월 15일생. 1997년 인하대학교 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 2월 동대학원 박사수료. 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.

박 충 렬(朴忠烈)
1954년 11월 17일생. 1975년 9월 연세대학교 전기공학과 졸업(석사). 2000년 3월~현재, 인하대학교 전기공학과 박사과정.

허 창 수(許昌洙)
1955년 1월 27일생. 1981년 인하대학교 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1983~1993년 한국전기연구소 기능재료연구실장. 1997~1998년 미국커넷티컷 대학 교환교수. 현재 인하대학교 전기공학과 교수.

심 대 섭(沈大燮)
1951년 1월 15일생. 1976년 인하대학교 고분자공학과 졸업. 1989년 한양대 대학원 졸업(석사). 2000년 단국대 대학원 졸업(박사). 현재 한국전기연구원 전기시험연구소 책임연구원.