

RTV 실리콘 코팅재의 코로나 방전 열화 특성

論文

52C-8-8

A Study on Ageing Characteristics of RTV Silicone Coating Materials by Corona Discharge

韓世元*·韓東熙*·趙漢九*
(Se-Won Han Dong-He Han Han-Goo Cho)

Abstract - Ageing characteristics of RTV coating materials by corona discharge have been studied. The hydrophobicity recovery of RTV coating materials with 300 μ m thickness was identical with a bulk silicone materials. The RTV coating materials hydrophobicity has been almost lost when its were discharged during 40 seconds by corona discharge of 10kV, and recovered after about 45 hours. The resistivity of RTV coating materials has not been recovered after 45 hours, though after 80 hours the initiation resistivity value has been recovered up to 95%. There was no critical change of compounds(such as Si and Al) on RTV surfaces by the corona discharge treatment until 100 seconds. In the test of arc erosion, it was seen that the coating sample with silicone rubber as a base material have more longer burn-out time than other samples with FRP or glass base.

Key Words : RTV silicone coating, corona discharge ageing, hydrophobic, arc erosion, tracking test

1. 서 론

전력용 절연물은 각종 염분, 분진 등과 같은 화학적 오염 물질이 축적되어 수분과 접촉되면 표면이 이온화되기 쉬운 수용액을 만들게 되고 이로 인해 누설전류가 절연물 표면에 흐르게 된다. 표면 누설전류가 심하면 표면이 건조되고 건조 부위에서 전압이 떨어져 불균일한 전압을 형성한다. 이것이 건조대 아크(dry band arc)를 형성하여 절연물 전체로 진전하면서 섬락(flashover)에 이른다. 섬락은 절연물에 열적 충격을 주어 사고를 일으킨다. 섬락을 방지하는 기술적 방안으로 기존 자기재 절연물의 경우 정기적인 표면 물청소를 통해 오염물질을 제거하거나 절연물의 구조를 변화시켜 절연물 표면에 오염물질이 작게 축적되게 하여 누설 경로가 길어지도록 설계하기도 한다. 최근에는 반도체성 유약(semiconducting glaze) 도포하여 건조대를 방지하는 기술도 개발되고 있다[1].

최근 표면 발수성이 우수한 실리콘, EPDM 등과 같은 신소재 복합소재(composite materials)를 이용한 절연물이 개발되면서 오염물질을 감싸주는 역할을 하여 수용액의 형성을 억제한다. 한편 이들 소재는 내자외선 특성과 내열성이 우수하여 옥외에서 장기적으로 적용이 가능하여 현재 배전 및 송전급 전력용으로 광범위하게 적용이 이루어지고 있다[2]. 실리콘 절연 보호 코팅재는 기존 절연물 표면에 친수성을 가지게 하여 오염물질과 수분이 만나서 수용액을 형성하는 것을 방지하여 준다. 또한 아크 트래킹에 대한 내성과 내 자외

선, 화학적 안전성을 가지고 있어 일단 코팅된 절연물은 장기적인 신뢰성을 갖는 것으로 알려져 있다. 이 방법은 장기간 성능을 유지하므로 초기에 설치비용이 드는 반면 제품의 수명이 길어지므로 경제적 효과가 큰 장점을 기대할 수 있다 [1,2]. 코팅재는 내후성과 더불어 내 아크성이 중요하다. 일반적으로 탄소원소를 가지는 복합물질은 높은 에너지를 가하면 분해되어 전기적으로 도전성을 가지게 되어 트래킹 문제와 섬락이 발생하기 쉽다. 따라서 이러한 트래킹 및 아크등에 대한 열화 특성을 검증하는 것은 대단히 중요하다.

현재 절연물 코팅재로 널리 사용되는 것은 실리콘 고분자를 주원료로 하는 RTV(Room Temperature Vulcanizing)로 기존 자기재 및 유리재 절연물과의 접착성이 우수하고 오염된 상황에서 장기간 발수성을 유지하는 것으로 알려져 있다. 최근 국내에서도 이를 적용하기 위한 연구가 진행되고 있으며 본 연구에서는 실리콘 코팅재를 코로나 방전시켜 전기적 물성 및 내 트래킹, 내 아크 시험 등을 실시하여 다양한 열화 특성을 검토하였다.

2. 실험 방법

실험에 사용된 RTV 실리콘 코팅재 시편의 기본 물성은 표 1과 같다. RTV 실리콘의 코팅 방법은 페인팅 방법을 원칙으로 코팅 기저 물질(base material)로는 동질의 실리콘 고무, 유리 및 FRP의 3종류를 대상으로 실험하였다. 스프레이 방법과 페인팅 방법으로 얻어진 코팅 두께는 300 μ m 정도를 기준으로 제작하였다. 제작 방법에 따른 표면 및 전기적 물성은 동일한 것으로 나타났다. 시편은 스프레이 및 페인팅 작업 후 24시간 동안 건조로에서 상온 경화시켰다. 그림 1은 표면 코팅이 완료된 시편 사진을 나타낸 것이다.

* 正 會 員 : 韓國電氣研究院 新素材應用研究그룹
接受日字 : 2003年 5月 9日
最終完了 : 2003年 6月 13日

표 1 RTV 실리콘 코팅재 시편 기본 물성

Table 1 Basic properties of RTV silicone coating sample

기본구조 (PDMS)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{R}-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-\text{R} \\ \quad \quad \\ \text{CH}_3 \quad \quad \text{CH}_3 \\ \quad \quad \quad n \end{array}$
비중(25℃)	1.19
절연 강도(V/mm)	350
유전율(100kHz)	0.0788
체적 저항(Ωcm)	1.14×10^{14}

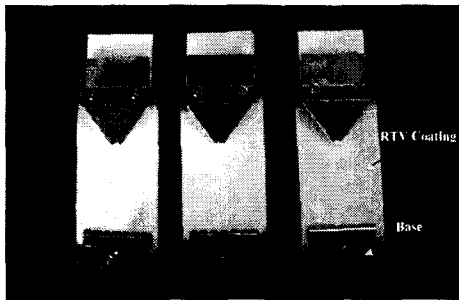


그림 1 표면 코팅이 완료된 시편
Fig. 1 Samples coated by RTV silicone

절연 저항 측정은 그림 2와 같이 ASTM D 257 방법에 따라 RTV 코팅제를 필름상으로 만들어 체적 저항(volume resistivity)과 표면 저항(surface resistivity)을 측정하였다[3].

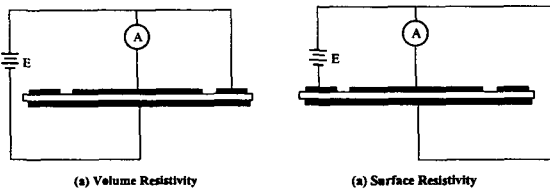


그림 2 절연 저항 측정 회로도
Fig. 2 The schematic diagram for insulation properties

내아크 시험은 전기적 아크에 의한 절연물 표면의 열화특성을 실험하는 것으로 ASTM D 495에 따라 고전압 소전류 아크(수십 mA 이하) 방법으로 7단계 기준에 따라 판정하였다[4]. 트래킹 내구성은 IEC 60587에 따라 경사 평면법(inclined plane method)으로 시험하였다[5]. 트래킹에 의한 표면 절연 파괴는 첫째 고압에서 60mA 이상의 전류가 2초간 연속적으로 흐를 때의 시간이며, 둘째 도전경로(conducting path)가 하부 전극으로부터 상부로 25mm 지점까지 형성되는 시간으로 판정한다. 일반적으로 전자를 내 트래킹 특성의 평가 기준으로 이용한다. 그림 3은 각각의 실제 실험 장치를 나타내는 사진이다. 실리콘 고무의 소수성은 코로나 방전에 노출되면 산화에 의해 표면 성질을 잃게된다. 코로나 방전 시험에 사용한 방전장치(Tantec GmbH, Denmark)는 인가 전압은 10kV, 시험 주파수는 25kHz 고주파를 사용하여 상온에서 교류 코로나가 발생하도록 구성되었다(그림 4).

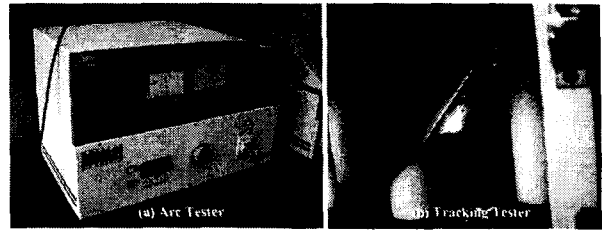


그림 3 내 아크와 내 트래킹 시험 장치
Fig. 3 Tester for arcing and tracking properties

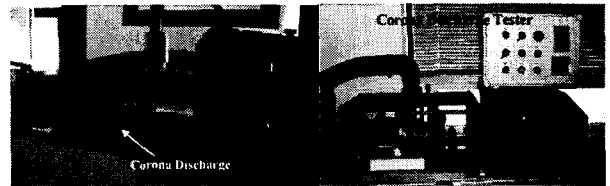


그림 4 코로나 방전 표면 열화 시험
Fig. 4 The corona discharge system

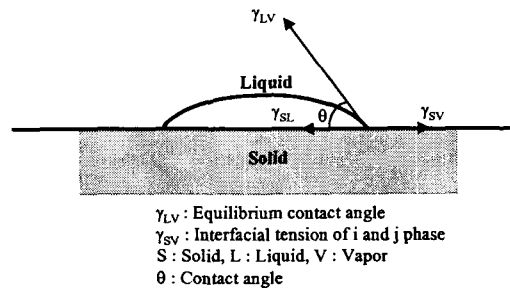


그림 5 접촉각 측정 등가 모델
Fig. 5 The equilibrium Model of contact angle

RTV 코팅 표면의 코로나 방전 열화에 따른 표면 발수성 회복 특성은 접촉각을 측정하여 확인하였다. 그림 5와 같이 표면 접선과 시험 액체간의 계면 각을 접촉각으로 사용한다. 일반적으로 접촉각을 측정하여 절연물 표면 소수성의 척도로 삼는다. 본 실험에서는 SEO사의 접촉각 측정 장비(모델 SEM 300A)를 사용하여 실험하였다. 코로나 방전 또는 트래킹 시험 후 RTV 코팅 표면의 변화를 SEM과 EDX를 통해 미시적으로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 코로나 방전에 의한 표면 열화

일반적으로 고분자 재료는 코로나, 글로우 및 플라즈마와 같은 전기적 방전에 노출되면 표면이 물리적, 화학적 손상을 입는다. RTV 실리콘 코팅 시편을 코로나 방전에 노출시키면 실리콘 고무 고유의 소수성을 잃고 친수성 표면으로 바뀐다. 그림 6은 코로나 처리 전·후의 RTV 실리콘 코팅 시편의 접촉각 변화 형태를 사진으로 나타낸 것이다. 초기 건전 시편의 경우 접촉각이 117° 정도를 갖는데 이 측정값은 일반적

인 실리콘 고무에서 나타나는 값과 일치하는 값으로 300 μm 두께로 얻어진 코팅 시편도 일반 실리콘 고무와 초기 소수성은 동일한 것을 알 수 있다. 하지만 코로나 방전에 의한 표면 변화가 진행되면서 소수성은 점차 잃게 된다. 그림 7에서 보듯이 10kV 고전압을 10초~20초 인가하는 경우 접촉각은 60°로 거의 1/2로 작아지고 40초로 인가시간을 증가시키면 접촉각이 20°로 거의 소수성을 상실하는 표면 특성을 나타내었다. 이러한 결과는 코로나 방전이 RTV 실리콘 코팅 표면 발수성에 큰 영향을 줄 수 있음을 보여준다.

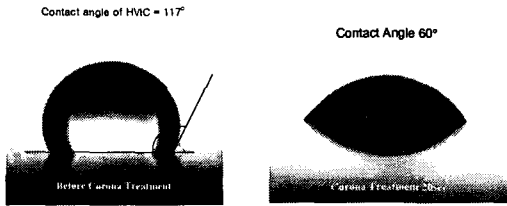


그림 6 코로나 표면 방전 전·후 접촉각 변화 사진
Fig. 6 Photos of contact angles by corona discharge

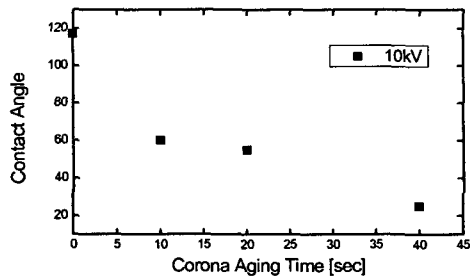


그림 7 코로나 표면 방전 시간에 따른 접촉각 변화
Fig. 7 The contact angle with corona discharge times

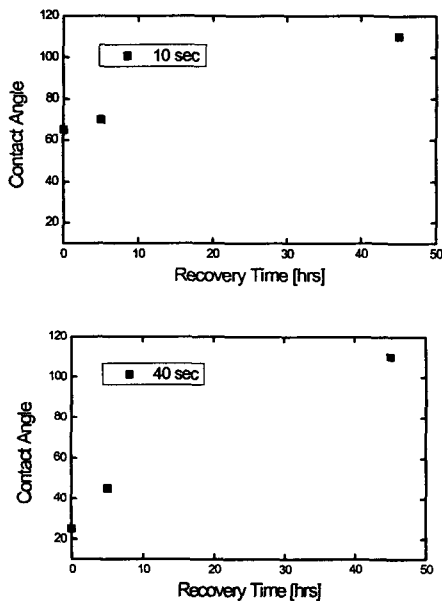


그림 8 코로나 표면 방전 처리 후 소수성 회복 특성
Fig. 8 The hydrophobicity recovery with times

이미 알려진 바와 같이 실리콘 고무의 경우 표면 열화 후 시간이 지나면서 소수성을 회복하는 특성이 있다[6]. 본 실험에서도 RTV 코팅의 경우도 이러한 특성을 확인 할 수 있었다. 그림 8은 코로나 방전에 의한 표면 처리를 10초, 40초 실시한 시편에 대하여 소수성을 회복하는 특성을 알아보기 위해 회복 시간에 따른 접촉각의 변화를 측정 한 것이다. 두 시편 모두 코로나 처리 시간에 관계없이 약 45시간이 지나면서 초기 코로나 방전 처리를 행하지 않은 접촉각의 값을 회복하는 것으로 나타났다.

3.2 코로나 표면 방전과 전도성 회복 특성

코로나 표면 방전에 의한 열화는 표면 발수성과는 다른 양상으로 나타났다. 그림 9의 전도성 회복 특성시험 결과를 보면 표면 발수성은 45시간이 지나면서 초기 특성을 회복하는 반면 표면 저항과 체적 저항은 48시간이 지난 이후에도 초기 값에 1~2 order 낮은 저항값을 갖는다. 그러나 80시간이 지난 후에는 거의 95% 정도 전도성이 회복되는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 기존 체적형의 실리콘 고무의 회복 특성과 유사하지만 회복되는 시간이 다소 지연되는 것으로 필름 형으로 제작된 시편이 갖는 영향으로 판단된다. 코로나 방전에 의해 저항이 감소하는 이유는 코로나 방전 열화로 인해 실리콘 코팅 표면의 탄소 농도의 감소와 특히 산소의 농도는 증가와 밀접한 관계가 있다. 이것은 친수성의 하이드록실기 (hydrolysis -OH-)가 대기로부터 실리콘 고무 표면에 부착되는 것이 주요한 원인으로 알려져 있다[7,8].

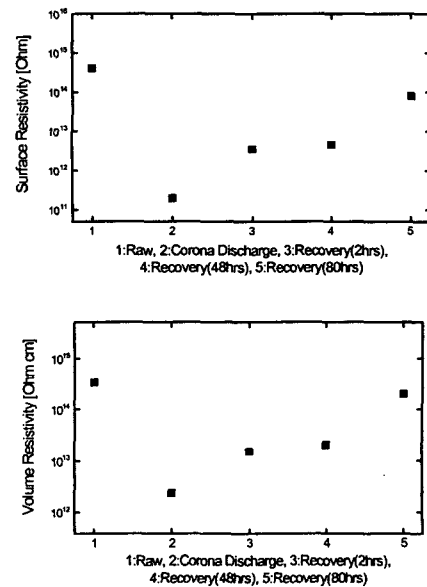


그림 9 코로나 표면방전 처리전·후 체적저항 회복특성
Fig. 9 The resistivity recovery with times

3.3 코로나 방전에 따른 미세 조직 분석

그림 10은 코로나 방전 처리 전후의 표면 조직 변화를 SEM으로 분석한 사진이다. 코로나 방전에 의한 실리콘 표면

열화는 전자, 이온, 자외선 및 오존 등에 의해 복합적으로 발생한다. 이러한 반응이 심각하게 작용하면 코팅 표면에 미세적 혹은 거시적인 균열(cracks) 또는 초킹(chocking)과 같은 표면의 균열을 유발시키고, 소수성을 저하시켜 누설 전류가 증가하고 아크의 발생 가능성이 높아진다. 본 코로나 방전 조건의 경우 SEM을 이용한 미세 조직 분석에서 심각한 균열이나 초킹 현상을 확인되지 않았다. 그러나 코로나 방전이 20초~100초 처리된 시편의 경우 건전 시편의 미로 자국이 사라지면서 거칠어지는 현상이 현저히 나타났다.

일반적으로 코로나 방전에 노출된 실리콘 표면은 비정질 SiOx 상이 증가하는 현상이 발생한다[7,8]. 그러나 그림 11과 표 2의 EDX 분석 결과에 따르면 코로나에 노출된 RTV 코팅 시편의 경우 코로나 처리를 하지 않은 시편과 거의 동일한 특성을 나타내었다. 따라서 100sec 정도 코로나 방전에 노출된 경우 실리콘 코팅재의 표면에서 Si 이나 Al의 현저한 감소나 증가 현상은 발생하지 않는다는 것을 알 수 있다. 하지만 이러한 실리콘, 알루미늄, 산소 및 탄소 원소량의 미세적 변화는 보다 정량적인 분석 방법으로 검토되어야 정확히 판단할 필요가 있다.

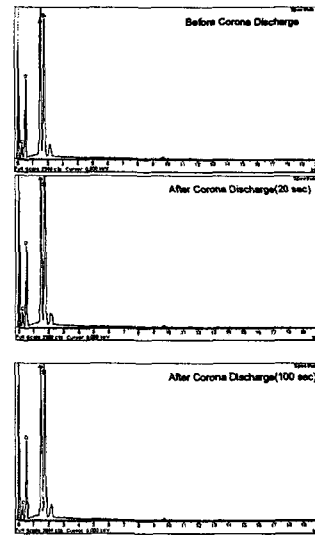


그림 11 코로나 방전 처리 전·후의 EDX 분석
Fig. 11 The EDX analysis by corona discharge

3.4 내 아크 및 내 트래킹 특성

전력용 절연물은 표면 오손과 습기에 의해 불평등한 고전계가 형성되면 국부적인 아크가 발생할 수 있다. 따라서 고분자 절연물의 경우 이러한 아크 열화 특성을 검증하는 것이 중요하다. 내 아크 특성 시험은 주로 ASTM D 495에 따라 시험하는데 전극 전압을 12.5kV로 설정하여 실험하게 된다. 표 3은 규격에 따른 아크의 인가 단계와 시간 주기를 나타낸 것이다.

표 3 아크 시험 단계와 주기(ASTM D 495)
Table 3 The test step by ASTM D 495

Step	Current (mA)	Time Cycle	Total Time(sec)
I	10	1/4s on, 1(3/4) off	60
II	10	1/4s on, 1(3/4) off	120
III	10	1/4s on, 1(3/4) off	180
IV	10	continuous	240
V	10	continuous	300
VI	10	continuous	360
VII	10	continuous	420

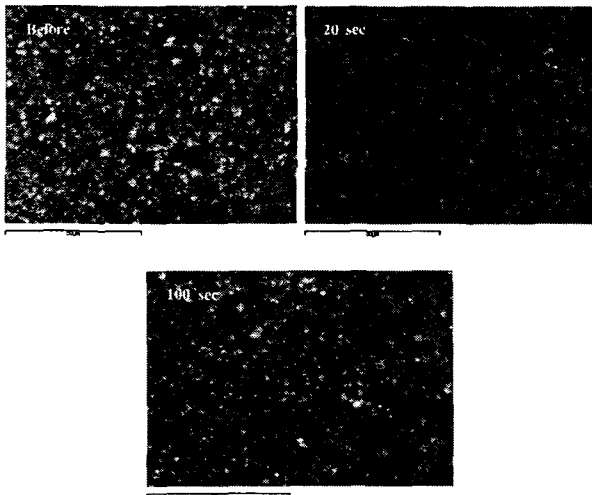


그림 10 코로나 방전 처리 전·후의 표면 SEM
Fig. 10 The SEM on sample surface by corona discharge

표 2 코로나 방전 처리 전·후의 표면 성분 분석
Table 2 The components analysis by corona discharge

Elements	Before Corona Discharge		After 20sec C.D.		After 100sec. C.D.	
	intensity	atomic%	intensity	atomic%	intensity	atomic%
C	0.279	26.99	0.280	27.56	0.275	26.92
O	0.757	49.67	0.751	49.31	0.752	49.20
Al	0.937	10.55	0.927	10.40	0.931	10.77
Si	0.788	12.80	0.790	12.73	0.788	13.10

그림 12에서 알 수 있듯이 코팅 기저 물질에 따라 내 아크 특성이 달리 나타났다. 같은 물질 계열인 실리콘 고무를 기저 물질로 하여 코팅된 시편(1)의 경우 소손(burn out)에 이르는 시간이 5step인 약 300초에서 나타나지만, FRP와 Glass의 경우 4step인 약 250초로 내 아크 특성이 낮은 것으로 확인되었다. 이것은 기저 물질간의 접착력과 밀접한 관계를 가지고 있는 것으로 판단된다. 코로나 방전으로 표면을 처리하는 경우 앞에서 언급한 바와 같이 표면 발수성과 전기적 특성이 현저히 저하하고 있다. 내 아크 특성에서도 코로나 방전 처리된 코팅 시편의 경우 건전 시편과 비교하여 소손에 이르는 시간이 짧아져 4step인 240초로 실리콘의 최저 내 아크 시간에 해당하는 값이다(그림 13). 그러나 코로나 방전 시간이 20초 이상 100초에 이르는 시편의 경우도 아크에 의한 소손 시간이 더 이상 짧아지지 않는 것으로 나타났다.



그림 12 RTV 코팅 기저 물질에 따른 내 아크 특성
 Fig. 12 The arc resistance of RTV coating with base materials

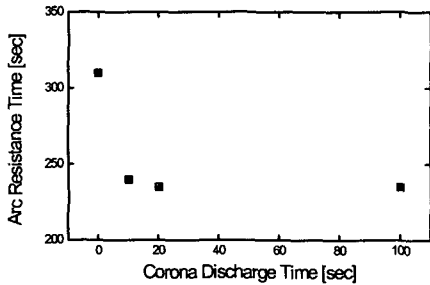


그림 13 코로나 표면 처리에 따른 내 아크 특성
 Fig. 13 The arc resistance of RTV coating with corona discharge times

그림 14는 내 아크 시험에서 초기 아크 개시 동작이후 중반(intermediate stage)에서 마지막 소손 상태로 진행되는 아크 현상과 최종 소손 이후 시편의 상태를 나타낸 것이다.

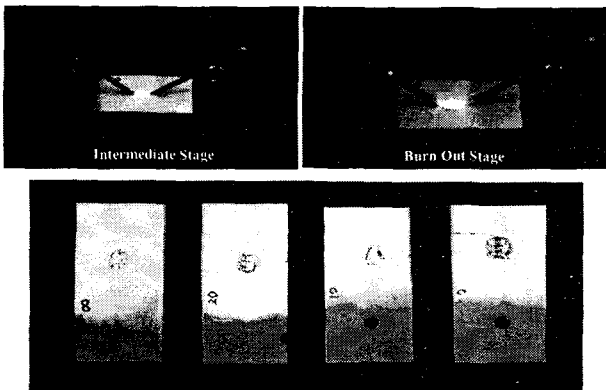


그림 14 초기 아크 동작 상태와 최종 소손(burn out) 이후 시편 상태
 Fig. 14 Samples burned out by arc test

경사 평면법 트래킹 실험에서는 저항율이 $400\Omega \cdot \text{cm}$ 인 NH_4Cl 오손액을 사용하였다. 4.5kV 교류 전압이 인가되면 초기에 아크는 하부 전극 부근에서 발생하여 상부 전극으로 진전하는데 이러한 현상은 상부 전극 쪽에서 오손액이 연속적

으로 공급되어 하부 전극에서 건조대가 먼저 형성되기 때문이다. 표 4는 IEC 60587에서 규정한 경사 트래킹 시험 조건을 나타낸 것이다.

표 4 경사 트래킹 시험 조건(IEC 60587)
 Table 4 The tracking test conditions by IEC 60587

Test Voltage (kV)	Preferred Test Voltage (kV)	Contaminant Flow Rate(ml/min)	Series Resistance (k Ω)
1.0 to 1.75	-	0.075	1.0
2.0 to 2.75	2.5	0.15	10
3.0 to 3.75	3.5	0.30	22
4.0 to 4.75	4.5	0.60	33
5.0 to 6.00	-	0.90	33

고압 회로에 60mA 이상의 전류가 2초간 연속적으로 흐를 때의 시간을 판정하거나, 도전 경로(conducting path)가 하부 전극으로부터 상부로 25mm 지점까지 진전되는 시간으로 나타낸다. 일반적으로 전자를 내 트래킹성 평가 기준으로 사용한다. 표 5는 IEC 60587의 트래킹 판정 기준이다. 그림 15는 4.5kV 트래킹 시험 전압을 6시간 동안 인가한 후 RTV 코팅 표면에 형성된 트래킹 자국이다. 5개의 시편 중 1개는 2시간 만에 트립(trip)되고 나머지는 견디는 것으로 나타났다.

표 5 경사 트래킹 시험 판정 기준(IEC 60587)
 Table 5 The criterion of tracking test by IEC 60587

등급	기준
Class 1A 0	Any specimen fails at 2.5kV in less than 6 hrs.
Class 1A 2.5	all five specimens survive 6 hrs at 2.5kV
Class 1A 3.5	all five specimens survive 6 hrs at 3.5kV
Class 1A 4.5	all five specimens survive 6 hrs at 4.5kV

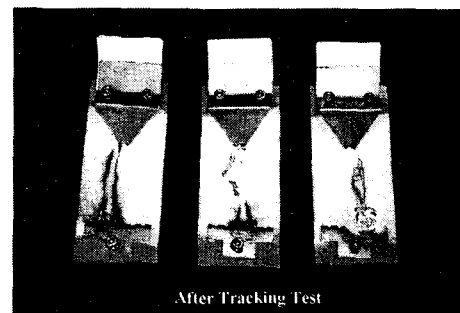


그림 15 경사 트래킹 시험 후 최종 RTV 코팅 시편(4.5kV)
 Fig. 15 Samples of RTV coatings after tracking tests

3. 결 론

현재 절연물 코팅제로 널리 사용되는 것은 실리콘 고분자가 주원료인 RTV(Room Temperature Vulcanizing) 코팅제로 기존 자기재 및 유리재 절연물과의 접착성이 우수하고 오

염된 상황에서 장기간 발수성을 유지하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 실리콘 코팅재의 코로나 방전에 따른 전기적 물성 시험을 중심으로 한 내 트래킹, 내 아크 특성 등의 다양한 열화 특성을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) RTV 코팅재의 경우 코로나 방전 시간에 길어지면 표면 변화가 진행되어 소수성은 점차 저하되었다. 10kV 고전압의 코로나를 10초~20초 인가하는 경우 접촉각은 60° 로 거의 1/2로 작아지고 방전 시간을 40초로 증가시키면 접촉각이 20° 로 거의 소수성을 상실하였다.
- 2) 코로나 방전에 의한 표면 처리를 10초, 40초 실시한 시편에 대하여 소수성을 회복하는 특성으로 접촉각의 변화를 측정된 결과, 코로나 처리 시간에 관계없이 약 45시간이 지나면서 초기 코로나 방전 처리를 행하지 않은 접촉각 값을 회복하였다.
- 3) 표면 발수성은 45시간이 지나면서 초기 특성을 회복하는 반면 표면 저항과 체적 저항은 48시간이 지난 이후에도 초기값에 1~2 order 낮은 저항값을 나타내었다. 그러나 80시간이 지난 후에는 거의 95% 정도 전도성이 회복되었다.
- 4) 코로나 방전이 20초~100초 처리된 시편의 경우 건전 시편의 미로 자국이 사라지면서 거칠어지는 현상은 현저하였으나 심각한 크랙이나 초킹 현상을 확인되지 않았다. EDX 분석 결과 100sec 정도 코로나 방전에 노출된 경우 실리콘 코팅재의 표면에서 Si 또는 Al의 현저한 감소는 발생하지 않았다.
- 5) 내 아크 특성은 코팅 기저 물질에 따라 달리 나타났다. 같은 물질 계열인 실리콘 고무를 기저 물질로 하여 코팅된 시편의 경우 소손(burn out)에 이르는 시간이 5step인 약 300초에서 나타나지만, FRP와 Glass의 경우 4step인 약 250초로 내 아크 특성이 낮은 것으로 확인되었다.

참 고 문 헌

- [1] R. Hartings, "The AC behavior of a hydrophilic and hydrophobic post insulator during rain", IEEE Trans, on Power Delivery, p1584~, 1994.
- [2] R. S. Gorur, T. Orbeck, "Surface dielectric behavior of polymeric insulation under HV outdoor conditions", IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol 26, No. 5, p1064~, 1991.
- [3] ASTM D 257, "Standard test methods for DC resistance or conductance of insulation materials", 1983.
- [4] ASTM D 495, "Standard test methods for high voltage, low current, dry arc resistance of solid electrical insulation", 1984.
- [5] IEC 60587, "Test methods for evaluating resistance to tracking and erosion of electrical insulating materials used under severe ambient conditions", 1984.
- [6] H. Hillborg and U. W. Gedde, "Hydrophobicity recovery of Polydimethylsiloxane after exposure to corona discharges", Polymer, Vol. 39, No. 10, pp. 1991~1998, 1998.

- [7] P. J. Smith, M. J. Owen, P. H. Holm and G. A. Toskey, "Silicone studies of corona treated silicone rubber HV insulation", 1992 IEEE Conf. on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Victoria, Canada, pp. 829~836, 1992.
- [8] 한동희, "실리콘 고무 복합재료의 전기 절연 특성", 박사 학위논문, 2001.

저 자 소 개



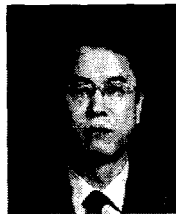
한 세 원(韓世元)

1961년 1월 16일생. 1984년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 동 대학원 전기공학과 박사. 1986년-1991년 한국전기연구소 연구원. 1991년-현재 한국전기연구원 전기재료연구단 선임연구원
 TEL : 055-280-1674
 FAX : 055-280-1590
 Email : swhan@keri.re.kr



한 동 희(韓東熙)

1966년 6월 8일생. 1989년 경북대학교 고분자공학과 졸업. 1991년 동 대학원 고분자공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 고분자공학과 박사. 1991년-1996년 한국전기연구소 연구원. 1996년-현재 한국전기연구원 전기재료연구단 선임연구원
 TEL : 055-280-1613
 FAX : 055-280-1590
 Email : dhhan@keri.re.kr



조 한 구(趙漢九)

1959년 4월 14일생. 1984년 성균관대학교 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 동 대학원 전기공학과 박사. 1987년-1991년 한국전기연구소 연구원. 1991년-2000년 한국전기연구원 선임연구원. 2000년-현재 한국전기연구원 전기재료연구단 책임연구원 팀장.
 TEL : 055-280-1670
 FAX : 055-280-1673
 Email : hgcho@keri.re.kr