

## 옥외용 실리콘 절연재료의 발수성에 미치는 표면전하의 영향과 표면 상태에 따른 표면전위 감쇠

### Effects of Surface Charges on Hydrophobicity and Surface Potential Decay with Various Surface States of Silicone Rubber for Outdoor Insulator

연복희\*, 박충렬, 허창수

(Bok-Hee Youn\*, Chung-Yeul Park, and Chang-Su Huh)

#### Abstract

This paper presents the effects of accumulation of surface charges on hydrophobic level and the changes of surface potential decay with various artificial environment treatments on high temperature vulcanized (HTV) silicone rubber used for outdoor insulating material. For this study, the charging apparatus by corona discharge, in which grid electrode was installed between the main corona and ground electrode, was used. From this study, it was found that the accumulation of surface charges above a critical surface potential on silicone insulating materials could lead to the temporary loss of surface hydrophobicity. In addition, corona stress and water absorption stress increase the decay rate of surface charges of HTV silicone rubber, while ultraviolet (UV) stress causes longer decay time. We could conclude that the effects of surface charges on hydrophobicity level and the changes of surface state by various artificial treatments were found through a trend of surface potential decay.

**Key Words** : Polymeric outdoor insulator, Surface charge, Hydrophobicity, Aging

#### 1. 서론

고전압 가공 선로에서 전선의 지지용 절연 애자는 혹독한 자연 환경 하에서도 충분한 절연특성 및 기계적 하중에 견디는 성능을 가져야 한다[1,2]. 옥외에 사용되는 절연 애자는 염분, 시멘트, 각종 화학물질 및 대기 중의 오염물이 표면에 축적된 상태에서 비 또는 이슬 같은 수분과 만났을 때, 애자 표면에 수분 층이 형성된다. 이러한 수분층은

자외선 조사와 각종 전기적 방전이 복합적으로 작용하여 재료 표면 발수성이 저하한 상태에서 발생된다. 이 수분층에서는 애자 표면에 붙어 있는 오염물질이 용해되어 이온화되고 이로 인하여 누설 전류가 애자표면 전체로 흐르게 된다. 표면의 누설 전류가 심해지면 애자 표면을 국부적으로 건조시켜서 전압 불균형을 일으키고 건조대 아크를 유발하여 섬락으로 이어질 수 있다. 이러한 열화과정을 평가하기 위해 누설전류 모니터링이나 각종 표면의 화학적 분석이 이루어져 좀 더 자세한 열화 메카니즘들이 밝혀지고 있다[1-11].

옥외용 절연물에서 급속한 열화를 일으키는 건조대 아크나 코로나 방전은 절연재료 표면에 오손물이 누적된 상태에서 다습한 분위기가 되면 발생

\* : 인하대학교 전기공학과

(인천시 용현4동 253,

Fax : 032-863-5822

E-mail : g1991139@inhavision.inha.ac.kr

2002년 3월 16일 접수, 2002년 4월 19일 1차 심사완료,

2002년 4월 30일 최종 심사완료

하므로 외피재료의 표면 발수성은 절연성능 및 장기신뢰성에 대단히 중요하다. 지금까지의 연구결과, 옥외용 폴리머 절연재료의 발수성 저하요인으로 각종 열화인자에 의한 표면경시변화 이외에 표면전하 축적이 초기의 발수성을 일시적으로 저하시킬 수 있으며, 전하감쇠에 따라 다시 발수성을 회복한다는 연구보고가 있었으며[12-14], 이러한 표면전위 감쇠특성의 측정으로 자외선 조사로 인한 열화 메카니즘 해석에도 이용되어 왔다[6]. 하지만, 경시적으로 변화되어 가는 옥외용 폴리머 절연재료의 표면전위 감쇠특성에 대해서는 아직 연구결과가 없으며, 표면전하에 의한 영향 또한 자세히 이루어지지 않았다. 그리하여, 본 연구에서는 옥외용 폴리머 절연재료 중 우수한 특성을 인정받고 있는 HTV 실리콘 고무를 대상으로 표면전하가 시료의 발수성에 미치는 영향을 조사하였다. 이를 위해 침 대 평판전극 사이에 그리드 전극이 설치된 대전장치를 이용하여 대전 후 표면전위 감쇠정도 및 정적 접촉각을 측정하였으며, 경시적으로 열화된 시료의 표면 상태변화 관찰을 위해 내후성 시험, 코로나 방전처리, 수분침투 시험을 통한 시료의 가속열화로 장시간 실제 사용을 모의한 시료의 표면전위 감쇠특성을 조사하여 표면 전하의 발수성 영향과 열화상태에 따른 표면전위 감쇠의 변화를 고찰하였다.

## 2. 실험

본 연구에서는 옥외용 절연재료로 사용되는 HTV 실리콘 고무를 대상으로 코로나 방전을 이용하여 시료표면을 대전시킨 후, 이러한 표면전하의 감쇠에 따른 표면전위 감쇠특성을 조사하였으며, 이와 함께 표면의 정적 접촉각을 측정하여 표면전하가 일시적인 재료 표면의 발수성 손실의 원인이 된다는 기존 연구결과를 확인하였다. 또한, 실제 사용 중에 중요한 열화인자로 작용할 수 있는 자외선 조사, 코로나 방전처리 및 수분침투 시험을 정해진 시간동안 인가하여 폴리머 절연재료의 경시적 표면변화에 따른 표면전위 감쇠특성을 조사하였다.

본 연구에 사용된 시료는 D사의 상용 고온 경화형 실리콘 고무로 여러 가지 특성향상을 위해 충전제가 다량 포함된 것이다. 시료 제작 시 사용된

경화제로는 DHBP 2,5-dimethyl 2,5-di(t-butylperoxy) hexane을 사용하였으며, 컴파운드 상태를 hot press를 사용하여 170℃에서 10분간 경화하여 시편을 제작하였다. 본 연구에 사용된 시편은 직경 5.4 cm의 원형으로 준비하였고, 두께는 2 mm로 하였다. 접촉각 측정에는 static goniometer를 사용하였으며, 마이크로 적하장치를 이용하여 적정 5  $\mu$ l의 증류수를 원하는 위치에 적하하여 측정하였으며, 동일 시료에서 각기 다른 위치에서 5곳 이상을 측정하여 평균하여 나타내었다. 본 연구에서 인위적인 전하측정은 침 대 평판 구조의 코로나 대전장비를 사용하였는데, 이전 발표논문에서는 그리드 전극을 사용하지 않아 전하의 영향보다는 코로나 방전처리될 우려가 존재한다[12,14]. 코로나 방전시 20초 미만의 처리에도 발수성 및 표면저항률이 급감한다는 연구결과가 있다[9]. 그리드 전극이 없는 경우 고에너지의 코로나 방전이 시료 표면에 직접 영향을 미칠 수 있지만, 그리드 전극을 삽입하면 그리드 인가전압으로 하전입자의 에너지를 낮추어 시료표면을 대전시킬 수 있다. 대전시킨 후 코로나 전극을 돌려 제거한 후, 표면전위 프로브를 사용하여 대전으로 인한 표면전위를 측정하였다. 표면전위 감쇠측정 장치의 개략도를 그림 1에 나타내었다.

시료의 경시적 변화를 모의한 가속열화처리를 위해 내후성 시험기를 사용하였는데, UVB type 자외선 형광램프가 장착된 내후성 시험기이다. 처리는 자외선 조사와 수분응축(condensation)을 각각 4시간씩을 한 주기로 하였다. 자외선 조사동안 챔버 내의 온도는 50℃로 유지하였으며, 수분응축

그림 1. 코로나 대전장치 개략도.

Fig. 1. The schematic diagram of corona charging apparatus.

시 주위온도를 40 °C로 고정하였다. 최대 방사파장 313 nm에서 방사강도를 0.65 W/cm<sup>2</sup>로 자동 조절하였다. 코로나 방전처리를 위해 침 대 평판 구조의 전극사이에 시료를 놓고, 교류 전압 15 kV<sub>rms</sub>를 인가해 침 전극 끝단에서 코로나 방전을 발생시켰다. 코로나 주전극의 끝단 곡률반경은 1 μm 이었으며, 평판전극은 끝단에 전계완화를 위한 곡률 반경을 가진 100 mm 크기의 원판상 전극을 사용하였다. 시료표면과 침전극 끝단 사이의 거리를 15 mm로 유지하였고, 모든 처리는 상온에서 수행하였다. 처리 후, 코로나 방전 처리된 부분은 변색되어 시료 표면에서 쉽게 구분할 수 있었는데, 약 50 mm 정도의 원형으로 나타났으며, 시험을 이 부분에서 수행하였다. 시료의 수분처리를 위해서는 시료를 항온 수조에 넣고, 물의 온도는 95±1 °C로 유지한 상태로 최대 1,000시간 지속하였다. 사용한 물에는 NaCl을 0.1 wt% 첨가하여 용액의 전도도를 0.3±0.05 mS/cm로 유지하였다. 일정한 시간 단위로 시료를 꺼내어 표면에 존재하는 수분을 깨끗한 건포로 제거한 후, 표면전위 감쇠특성을 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 표면전하 축적에 따른 발수성의 영향

코로나 방전은 고전압 전극 끝단의 높은 전계에서 발생하며, 또한 절연체 표면에 맺힌 물방울 사이에서도 발생한다. 이러한 코로나 방전은 하우징 고분자 절연체의 표면을 산화시켜 발수성을 손상시킬 뿐만 아니라 고분자 결합체를 절단하기도 한다[4,5,9]. 이러한 코로나 방전을 주방전 전극과 접지전극 사이에 그리드 전압을 삽입하여 하전 입자의 에너지를 낮추면 표면 상태를 관찰하는데 이용할 수 있다[6]. 표면전하의 축적에 의한 발수성 영향에 대한 이전의 연구결과, 이러한 그리드 전극을 사용하지 않고 코로나 대전을 수행한 결과로 고에너지의 하전입자들이 표면상태를 변화시켜 하전입자만의 영향으로 보기에 어렵다고 판단된다. 본 연구에서는 그리드 전극을 장착한 대전장치를 이용하여 코로나 대전 후, 표면전위의 감쇠속도를 측정하였으며, 표면에 축적된 전하 정도에 따라 접촉각을 측정하여 표면축적 전하가 표면 발수성에 미치는 영향을 조사하였다. 그림 2부터 그림 4는 그리드 전극의 인가전압과 대전시간에 따른 표면전위 감쇠 속도를 나타낸 것이다. 그리드 인가 전압

은 1 kV에서 3 kV까지 1 kV의 단위로 정극성 및 부극성에 대해 각각 측정하였다. 대전시간은 동일하게 10분으로 하였으며, 코로나 방전 주전극에는 직류 ±10 kV를 인가했다. 그림에서 나타낸 바와 같이 초기 대전 값은 대략 그리드 인가전압에서 시작하여, 시간이 지남에 따라 점차 감쇠하였다. 하지만, 그리드 인가전압의 크기에 따라서 감쇠속도의 영향은 거의 없었다. 또한, 그림 2부터 그림 4에는 그리드 전극의 인가전압에 따라 표면을 대전시킨 후, 경과시간에 따라 대전된 표면에 적하시킨 물방울의 표면 접촉각을 함께 나타내었다. 그림에는 5번 이상의 접촉각 측정결과와 평균치를 나타내었으며, 오차막대는 최대-최소를 나타내었다. 그리드 인가전압 1 kV와 2 kV에서는 표면전하 축

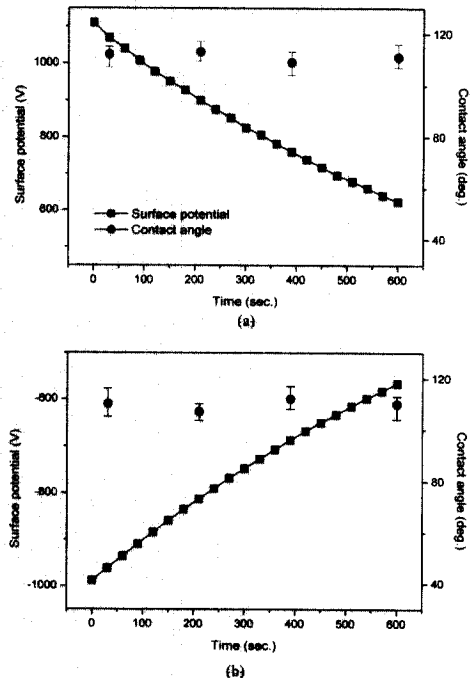


그림 2. 그리드 전압 1 kV인가 시 표면전위 감쇠와 발수성 변화.

(a) 정극성 (b) 부극성

Fig. 2. Surface voltage decay and changes of hydrophobicity in the case of grid voltage of 1 kV.

(a) positive polarity (b) negative polarity

적으로 표면발수성의 변화를 거의 관찰할 수 없었으며, 시간이 지남에 따른 변화도 없었다. 하지만, 3 kV 인가 시 정·부극성 모두에서 접촉각의 저하가 나타나기 시작하였다. 대전 종료 직후, 초기 접촉각이 48° 까지 감소하였다가 시간이 지남에 따라 점차 회복하여 5분 이후에 초기 접촉각까지 증가되었다. 이로써 표면의 대전양에 따라 표면발수성에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 이전 연구 논문 결과에서도 위와 같은 일시적 발수성 저하와 회복현상을 발표하였지만, 20분의 코로나 노출시간은 충분히 표면을 친수화시키기에 충분한 시간이며, 또한 전하감쇠에 따른 발수성 회복현상도 실리콘 고무 특유의 동적 회복력에 기인한 현상일 수 있다. 이로써, 그리드 전극을 사용하지 않은 대전

상태에서의 표면발수성의 영향은 대전전하의 영향이라고 보기보다는 고에너지의 코로나 방전으로 약간의 표면변화가 발생한 것으로 보인다.

또한 표면 발수성이 시간이 지남에 따라 회복하는 것은 코로나 방전으로 표면상태가 변화했다가 시간경과와 더불어, 알려진 몇몇의 회복 메커니즘에 따라 발수성이 회복되는 것으로 판단된다. 실리콘 고무의 발수성 회복현상이 발생하는 것은 극성기의 재배열, 가동성 저분자량 성분의 표면으로의 확산, 휘발성 성분의 손실, 극성기의 재반응, 표면 거칠기의 변화 등 여러 가지가 제안되어 있지만 이중 실리콘 고무의 특유의 저분자량 표면확산과 특성기의 재배치로 인해 단시간 내에 발수성이 회복되는 것으로 생각된다[4]. 결론적으로 그리드 전

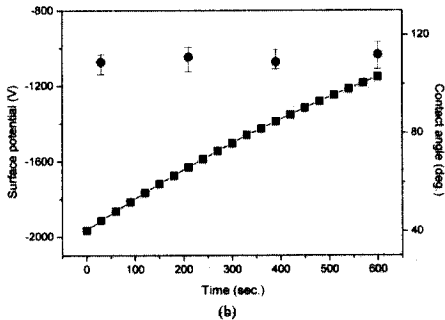
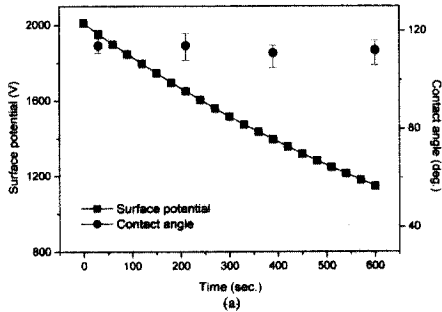


그림 3. 그리드 전압 2 kV인가 시 표면전위 감쇠와 발수성 변화.  
(a) 정극성 (b) 부극성

Fig. 3. Surface voltage decay and changes of hydrophobicity in the case of grid voltage of 2 kV.  
(a) positive polarity (b) negative polarity

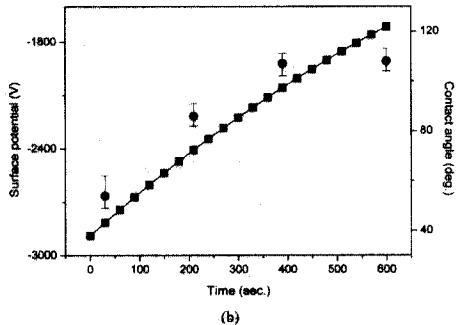
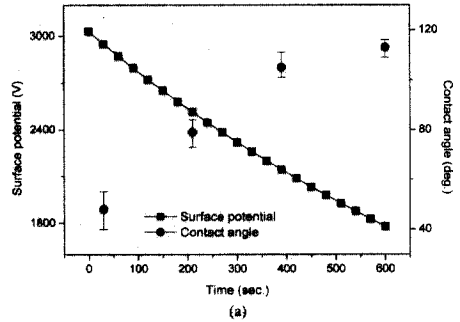


그림 4. 그리드 전압 3 kV인가 시 표면전위 감쇠와 발수성 변화.  
(a) 정극성 (b) 부극성

Fig. 4. Surface voltage decay and changes of hydrophobicity in the case of grid voltage of 3 kV.  
(a) positive polarity (b) negative polarity

극을 삽입한 코로나 대전장치의 사용으로 표면전하가 표면에 축적되면 발수성이 일시적으로 손실되며, 이러한 표면전하의 감소로 다시 발수성이 회복한다는 사실을 알 수 있었다. 이로써, 실제 옥외용 폴리머 절연물이 표면 열화상태가 아니더라도 표면대전상태에서 발수성이 손실되어 가속열화의 원인이 될 수 있다.

**3.2 열화처리된 시료의 표면전위 감쇠**

가속열화 처리된 시료에 따라 표면전위 감쇠속도의 변화를 관찰하기 위해 대전상태의 조건에서 표면전위 감쇠정도를 측정하였다. 그리드 전극에는 극성에 따라  $\pm 1$  kV를 인가하였다. 자외선 조사

처리된 절연물 모의를 위해 최대 5000시간 내후성 시험된 시료까지 준비하여 대전장치에서 표면전위 감쇠를 측정하였다. 그림 5에 이의 결과를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 열화 처리시간이 길어지면서 표면전위 감쇠가 점차 천천히 일어났다. 이러한 경향은 코로나 대전 극성에 관계없이 나타났다.

이때 사용한 자외선 램프의 주파장이 270 nm에서 313 nm까지에 이르기 때문에, 에너지로 환산하면 443 kJ/mol에서부터 382 kJ/mol에 이른다. 이러한 에너지는 실리콘 고무를 이루는 C-H(414 kJ/mol), Si-C(301 kJ/mol), Si-O(447 kJ/mol), O-H(463 kJ/mol) 결합체들의 평균 결합에너지를

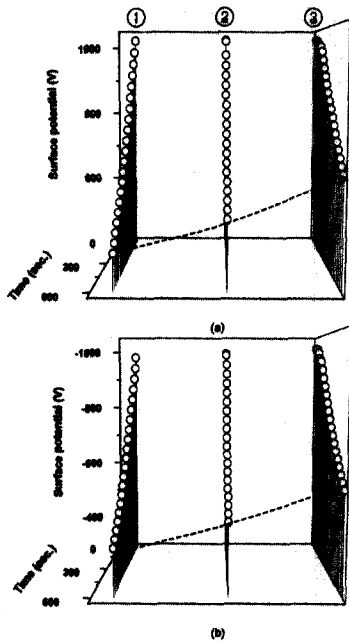


그림 5. 자외선 처리 시간에 따른 표면전위 감쇠의 변화 (a) 정극성 (b) 부극성.  
① 초기시료 ② 2500시간 처리시료  
③ 5000 시간 처리시료

Fig. 5. Surface voltage decay with increasing in time of UV irradiation.  
(a) positive polarity (b) negative polarity  
① initial ② 2500 hours ③ 5000 hours

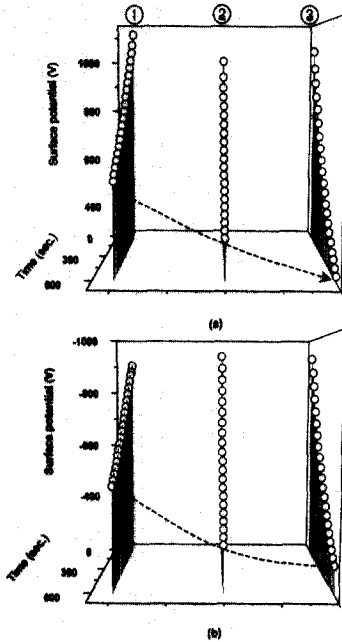


그림 6. 코로나 방전처리 시간에 따른 표면전위 감쇠의 변화 (a) 정극성 (b) 부극성.  
① 초기시료 ② 10시간 처리시료  
③ 100 시간 처리시료

Fig. 6. Surface voltage decay with increasing in time of corona discharge exposure.  
(a) positive polarity (b) negative polarity  
① initial ② 10 hours ③ 100 hours

고려하였을 때[2], 축색기인 메틸기 및 C-H 결합쇄가 절단되고, 그 자리에 반응성 산소기 및 라디칼이 형성되는데[5], 이는 다시 산소기의 가교반응으로 재결합하여 표면에 새로운 산화층이 형성된다[4,11]. 이러한 산화층은 실리카 유사층으로 불리는 다수의 산소기와 결합한 산화된 실록산결합 형태인데, 절연성이 우수하고 재료 자체의 자유체적 (free volume)의 변화로 하전입자를 오랫동안 보유하는 성질을 가지고 있기 때문에 판단된다. 이렇게 되면 절연성측면에서 유리할 수 있지만, 앞에서 살펴보았던 표면전하 축적이 발수성에 미치는 영향을 고려할 때, 축적이 용이해지므로 발수성의 일시적인 손실에 표면전하의 축적이 영향을 미칠 우려가 있다[12]. 코로나 방전은 고분자 절연체의 하우징 표면을 단 시간에 고분자 결합쇄를 절단하고 산화시켜 발수성을 손상시킨다. 코로나 방전처리에 따른 표면전위 감쇠를 그림 6에 나타냈다. 코로나 방전처리로 인하여 가시적으로 표면이 거칠어 진 것을 확인할 수 있었으며, 표면에 약간의 크랙현상을 관찰할 수 있었다. 그림 6에 나타낸 바와 같이 코로나 처리시간이 장기화되면서 표면전위 감쇠속도가 점차 빨라졌다. 코로나 방전으로 인해 표면전위 감쇠속도가 빨라진 것은 표면의 결합쇄가 절단되고 절단된 곳에 반응성 산소기의 부착으로 표면에 하이드록실기나 카르보닐기가 생성되어 극성표면으로 변화되어 코로나 방전으로 생긴 전하의 유

동 및 극성기와의 결합이 용이해졌기 때문에 판단된다[5,9]. 코로나 방전으로도 표면에는 실리카 유사형태의 산화층이 형성된다. 위와 같이, 자외선 조사와 코로나 방전처리 모두 산화반응이 주가 되지만, 처리인자에 따라 주된 반응이 재결합반응과 절단반응으로 나누어 상이한 결과를 보이며, 이는 코로나 방전을 이용한 표면대전 후, 표면전위 감쇠 정도를 측정하여 충분히 알아낼 수가 있었다. 코로나 처리의 전·후 시료를 대상으로 표면 저항률과 접촉각을 측정하였다. 표면저항률 측정은 가드링 전극이 포함된 저항률 어댑터를 사용하였는데, 직류 500 V를 30분 인가 후 정상상태의 전류를 측정

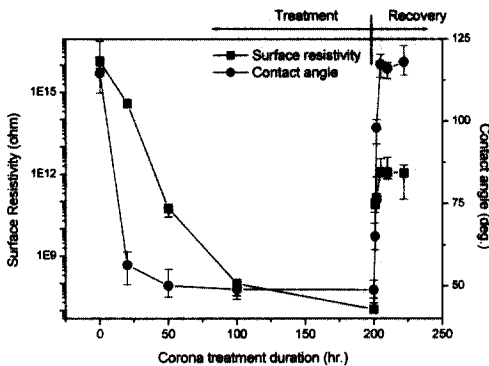


그림 7. 코로나 처리 전·후의 표면저항률과 접촉각의 변화.

Fig. 7. Surface resistivity and changes of contact angle after treatment of corona discharge.

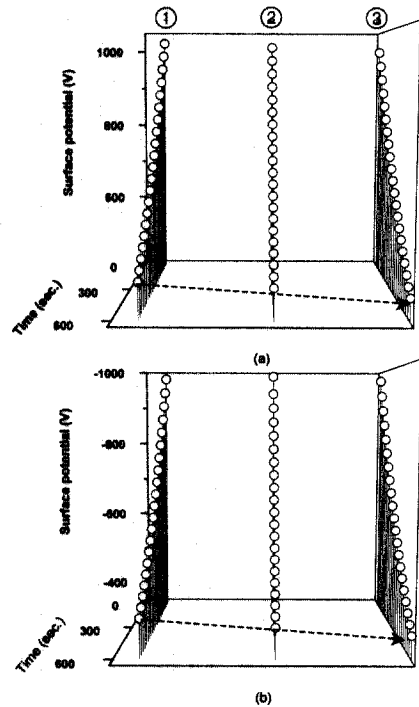


그림 8. 수분처리 시간에 따른 표면전위 감쇠의 변화 (a) 정극성 (b) 부극성.

- ① 초기시료    ② 500시간 처리시료
- ③ 1000 시간 처리시료

Fig. 8. Surface voltage decay with increasing in time of water immersion.

- (a) positive polarity (b) negative polarity
- ① initial    ② 500 hours    ③ 1000 hours

하여, 표면저항률을 계산하였다. 측정결과를 그림 7에 나타내었는데, 초기시료의 표면저항률은  $1.36 \times 10^{16}$   $\Omega$ 이었으며, 접촉각은  $114.6^\circ$  이었다. 코로나 방전처리 시간이 길어지면서, 표면저항률과 접촉각이 감소하여, 200시간 처리된 시료의 경우, 각각  $1.1 \times 10^7$   $\Omega$ ,  $22^\circ$  까지 감소하였다. 하지만, 처리 후 5시간 이내에 표면특성이 회복되어, 표면저항률은  $10^{12}$   $\Omega$ 으로, 접촉각은  $118^\circ$  까지 회복되었다. 이는 유동성 저분자량 실리콘 성분이 표면으로 확산되면서 표면특성이 회복되었으며, 양적 증가로 다른 처리시료에 비해 빠른 시간 내에 이루어진 것을 알 수 있었다[5,15]. 수분처리에 대한 표면전위 감쇠효과를 그림 8에 나타내었다. 수분처리시간이 지남에 따라 표면전위 감쇠속도가 빨라졌으며, 정극성과 부극성 모두 같은 경향을 나타내었다. 이처럼 수분처리가 장기화되면서 표면전위 감쇠속도가 빨라지는 것은 시료 표면으로 침투한 수분이 재료 표면을 가수화시키면서, 하이드록실기 카르복실기가 표면에 생성되고, 잔존하는 수분이 대전상태의 표면이 전하보유력을 떨어뜨렸기 때문이다[4]. 하지만, 수분처리에 따른 대전감쇠특성은 다른 열화인자에 비해 변화가 적었으며, 이는 실리콘 고무의 우수한 발수성 유지력으로 수분흡습의 영향을 적게 받는 것으로 판단된다.

### 3.3 고찰

코로나 대전장치를 이용하여 표면 축적전하에 의한 발수성 영향을 살펴본 결과, 특정 전위 이상의 표면전위가 축적되었을 경우에 일시적 발수성 손실을 가져온다는 사실과 대전양이 감쇠함에 따라 다시 발수성이 회복된다는 사실을 확인하였다. 이러한 옥외용 절연재료의 대전현상은 분극작용과 코로나 방전으로 인하여 표면이 충분히 대전될 수 있다는 연구결과가 있으므로, 열화되지 않은 시료에서도 일시적인 발수성 손실의 원인인 표면대전은 매우 중요하다[3,12-14]. 표면 하전입자의 감쇠시간이 오래 걸리는 것은 절연성 측면에서 고려되었을 때 장점으로 판단할 수 있지만 이렇게 계속 유지된 전하는 표면에 수분이 존재하면 재료의 표면 열화 없이도 일시적 발수성 손실을 가져온다[12-14]. 표면이 대전된 상태에서 수분이 존재하면 표면전하와 물방울 사이의 상호작용으로 물방울이 표면에 퍼져 건조대 아크의 발생과 표면 열화를 가속시키게 된다. 이러한 관점에서 표면전위 감쇠

현상을 살펴보면, 발수성 유지측면에서 전하가 빨리 빠져나가는 것이 유리하게 된다. 이러한 사실을 토대로, 자연환경에서 열화인자로 작용할 수 있는 자외선 조사, 코로나 방전 및 수분침투의 표면전위 감쇠특성의 영향을 살펴보았다. 자외선 조사의 경우, 표면의 결합쇄들이 절단되고 반응성 산소기의 재결합으로 표면에 산화층인 실리카 유사층이 생겨난다. 하지만, 이러한 반응은 재결합과정이 주가 되어, 발수성 회복메카니즘의 하나인 가동성 저분자량 실리콘 유제성분의 감소로 나타난다. 이러한 결과는 핵산 추출법으로 많은 연구결과 확인되었다[5,10]. 위와 같이 다수의 결합쇄가 서로 가교된 긴 분자량구조의 산화된 실리카 유사층은 절연성이 우수하여 표면하전입자의 보유력이 우수하지만, 이러한 결과로 대전상태의 물방울 적하 시 일시적으로 발수성이 손실될 수 있다. 코로나 방전도 마찬가지로 표면에 실리카 유사층이 생겨난다. 하지만, 장기 코로나 처리된 시료의 핵산 침투를 통한 저분자량 성분 추출을 시험하면, 처리시간이 장기화되면서 저분자량 성분이 점차 증가한다[5]. 이것은 주쇄의 절단과정 후, 단지 반응성 산소기의 부착으로 표면이 산화되어 산화층이 나타난 것이며, 주쇄의 절단으로 가동성 저분자량 성분이 생성되기 때문으로 판단된다. 그러므로, 자외선 조사의 경우와는 달리 표면발수성의 손실이 크게 나타난다. 즉, 코로나 처리된 시료의 표면은 실라놀이나 카르복실기 같은 관능기가 생성되어 매우 반응성이 높아지기 때문이다. 이로 인하여 표면에 인위적으로 주입된 하전입자는 빠른 시간에 표면특성과 결합하거나 표면을 통하여 빠져나간다. 하지만 이러한 저분자량의 증가로 열화인자가 제거되면 곧 빠른 회복특성을 보이는 것으로 나타났다. 또한 옥외용 고분자 절연재료가 수분에 노출되게 되면 화학적 가수분해를 일으켜 표면에 하이드록실기의 도입으로 발수성을 손상시킬 뿐만 아니라 온도의 변화에 따라 크랙의 원인이 되고, 컴파운드에 포함된 각종 충전재가 용해되어 부서지기 쉽게 되어 산소에 대한 저항성을 감소시키는 것으로 알려져 있다. 수분에 노출된 시료가 대전상태가 되면 가수분해로 인한 실라놀기가 표면에 다수 존재하여 표면의 절연성 저하로 대전 전하의 보유력이 상실된 것으로 판단된다.

위와 같은 열화인자에 따른 표면전위 감쇠효과를 고려할 때, 열화의 종류에 따라 표면의 정전적

특성에 미치는 영향은 다르게 나타났으며, 이로 인해 표면의 대전상태에 따라 일시적인 발수성 저하에 미치는 영향이 상이할 것으로 판단된다. 이로써 실제 field 중에 사용되었을 때, 각종 열화인자가 복합적으로 작용하는 경우, 표면의 정전적 성질이 변화되어 발수성에 미치는 표면전하의 영향이 상이하게 나타남에 따라 정전적 표면특성 조사의 영향검토가 필요하다고 판단된다.

#### 4. 결 론

옥외용 실리콘 절연재료를 대상으로 코로나 대전을 통한 표면전하 축적이 발수성에 미치는 영향과 경시적인 표면열화 과정이 이러한 표면전하 축적상태에 미치는 영향을 조사한 결과 다음과 같은 연구결과를 얻었다.

1. 코로나 대전을 통하여 표면에 축적된 하전입자에 의한 발수성 영향을 측정된 결과, 대전전압이 일정전압 이상에서 발수성 감소를 관측할 수 있었으며, 시간이 지남에 따라 표면 전하가 감소하였고, 이에 따라 다시 발수성이 회복되었다. 이로써, 실제 사용 중에 절연재료의 표면은 분극이나 방전으로 대전될 수 있으므로, 표면전하의 축적이 기존의 각종 환경적 및 전기적 열화인자 이외의 옥외용 폴리머 절연재료의 발수성손실 메카니즘으로 작용할 수 있다고 판단된다.
2. 자외선 처리, 코로나 방전 처리된 실리콘 고무 표면에 인위적 대전 후, 표면 전위의 감소 속도가 상이하게 나타났는데, 이의 결과로 표면의 극성상태를 파악할 수 있었으며, 특히, 자외선 처리로 인하여 표면에 전하축적이 용이해지는 표면구조변화를 알 수 있었다. 이로 인하여 옥외용 실리콘 절연재의 장기사용에 따라 표면이 대전될 가능성이 커지며, 이로 인하여 일시적인 발수성 감소를 보일 수 있을 것으로 판단된다. 이에 반해 코로나 방전은 재료 표면을 극성으로 변화시켜 코로나 방전으로 생긴 전하의 유동 및 극성기와의 결합이 용이해져 코로나 처리 시간이 지남에 따라 표면전위 감소속도가 빠르게 나타났다. 회복시간이 코로나 방전처리에 따른 절단반응이 주가 되어 증가한 저분자량성분이 표면저항률과 접촉각의 빠른 회복속도를 가져왔다.

3. 수분처리 시간이 장기화되면서, 옥외용 실리콘 절연재료의 표면전위 감소속도가 점차 빨라졌으며, 이는 표면에 남아있는 수분과 가수분해로 인하여 표면의 절연성 저하 때문으로 판단된다.

위와 같은 결과로 하전입자의 표면축적이 발수성손실의 열화인자임을 확인할 수 있었으며, 코로나 대전 후 표면전위 감소속도 측정으로 열화인자에 따른 표면상태의 극성정도 및 절연상태와 발수성손실 영향 평가가 가능하였다.

#### 감사의 글

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

#### 참고 문헌

- [1] J. S. T. Looms, "Insulators for High Voltages", Peter Peregrinus Ltd., p. 132, 1988.
- [2] R. S. Gorur, E. A. Cherney, and J. T. Burnham, "Outdoor Insulators", Ravi S Gorur, Inc., p.179, 1999.
- [3] A. J. Philips, D. J. Childs, and H. M. Schneider, "Water drop corona effects on full scale 500kV non-ceramic insulators", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 14, No. 1, p. 258, 1999.
- [4] H. Hillorg and U. W. Gedde, "Hydrophobicity changes in silicone rubbers", IEEE Trans. on Die. and E.I., Vol. 6, No. 5, p. 703, 1999.
- [5] N. Yoshimura and S. Kumagai, "Electrical and environmental aging of silicone rubber used in outdoor insulation", IEEE Trans. on Die. and E.I., Vol. 6, No. 5, p. 632, 1999.
- [6] B. S. Lee, T. Motoyama, K. Ichikawa, Y. Tabata, and D. C. Lee, "The analysis of surface degradation on UV-treated epoxy/glass fiber by corona-charging properties", Polymer Degra. and Stab., Vol. 66, p. 271, 1999.

- [7] Y. Xu, Y. He, F. Zeng, and R. Zhang, "Aging in EPDM used for outdoor insulation", IEEE Trans. on Die. and E.I., Vol. 6, No. 1, p. 60, 1999.
- [8] A. Toth, I. Bertoti, M. Blazso, G. Banhegyi, A. Bognar, and P. Szaplanczay, "Oxidative damage and recovery of silicone rubber surface. I. X-ray photoelectron spectroscopic study", J. of Appl. Polymer Science, Vol. 52, p. 1293, 1999.
- [9] 한동희, 조한구, 강동필, 민경은, "코로나 방전에 따른 실리콘 고무의 표면특성", 전기전자재료학회논문지, 15권, 2호, p. 133, 2002.
- [10] 허창수, 연복희, 조한구, "HTV 실리콘 고무에서 열화인자에 따른 저분자량 성분과 표면 발수성의 변화", 전기전자재료학회논문지, 12권, 1호, p. 1, 1999.
- [11] 연복희, 이태호, 이종한, 허창수, "자외선 조사된 HTV 실리콘 고무의 표면열화 분석", 전기전자재료학회논문지, 13권, 5호, p. 411, 2000.
- [12] V. M. Moreno and R. S. Gorur, "Ac and dc performance of polymeric housing materials for HV outdoor insulator", IEEE Trans. on Die. and E.I., Vol. 6, No. 3, p. 342, 1999.
- [13] L. Dissado, G. Mazzanti, and G. Montanari, "The role of trapped charges in the electrical aging of insulating materials", IEEE Trans. on Die. and E. I., Vol. 4, No. 5, p. 496, 1997.
- [14] V. Moreno, M. Ponce, E. Valle, and J. Fierro, "Effects of surface charge in the hydrophobicity levels of insulating materials", IEE Proc. Generation, Transmission and Distribution, Vol. 145, No. 6, p. 675, 1998.
- [15] T. Tokoro, "Loss and recovery of hydrophobicity and surface energy of HTV silicone rubber", IEEE Trans. on Die. and E. I., Vol. 8, No. 6, p. 1088, 2001.