

논문 23-1-11

신장율 변화에 의한 폴리프로필렌 필름의 정전기 대전 특성

Electrostatic Electrification Properties of Polypropylene Film due to Elongation Transition

이성일^{1,a}, 김상현¹
(Sung-ill Lee^{1,a} and Sang-Hyeon Kim¹)

Abstract

This paper examined the effects of specimen elongation on the electrostatic electrification voltages when polypropylene film specimens with 500%, 650% and 700% elongations were rotated at 1550 rpm. The results were as follows. The decrease of electrification voltage was not measured according to the time elapse, in case of elongated specimens with 70% environment humidity. As +10 kV was applied to the specimens with 650% elongations, the electrostatic electrification voltages were increased by the effect of environment humidity (1.23~1.25 kV at 50~60% humidity, and 1.46 kV at 70% humidity). The voltages were decreased to 1.2 kV at 700% elongation. As -10 kV was applied to the specimens with 500%, 650% and 700% elongations, the electrostatic electrification voltages were negatively increased with the increase of environment humidity and the elongation of specimens.

Key Words : Elongations, Electrostatic electrification voltage, Environment humidity, Polypropylene film

1. 서론

최근 산업의 발달과 더불어 고분자 절연재료의 제조 공정 시 정전기의 발생 및 장·재해가 급격히 증가하고 있으므로 이를 예방하기 위한 대책이 대단히 요구되고 있다[1,2]. 습도와 온도 및 물성 등의 여러 가지 환경 변화에 의해 정전기 현상은 그 재현성이 어렵고 과학적으로 취급하기도 곤란하기 때문에 적절하게 제어되지 않으면 화재·폭발, 및 생산 장·재해 및 시스템 파괴와 같은 여러 가지 사고를 유발하게 된다[3,4].

종이나 필름 등의 각종 제품을 만드는 산업 현장의 생산 공정에서는 정전기의 흡인과 반발작용에 의해 먼지가 제품 등에 부착되어 크고 작은 장·재해의 원인이 되어 품질을 저하시킨다. 석유

화학 공장이나 가연성 물질을 취급하는 공장에서는 이러한 정전기로 인하여 정전기의 역학적 작용 정전기 유도 및 방전 등의 정전현상에 의해 대전 물체와 순간적 접촉에너지의 의해 화재 및 폭발재해가 발생하게 된다[5,6,9].

특히 최근의 정전기 방전에 의한 컴퓨터 오동작과 같은 재해는 하이테크 분야로 확대되고 있으며, 운용자의 인체 대전에 의한 방전 때 노이즈가 여러 문제를 발생시키며 전기부품을 파괴한다. 한편 정전기의 방전 에너지는 작으나 방전에 따라서는 최고의 값이 수 암페어 정도의 방전 전류가 순식간에 흐르기 때문에 방전이 인체에 일어나면 전기 충격으로 피부가 파괴되거나 쇼크로 인한 추락 등의 2차 재해가 발생된다[7,8].

본 연구에서는 폴리프로필렌 필름의 제조 및 운송 과정에서 정전기가 발생하게 되는데 그 환경 변화에 의한 재해를 미연에 방지하기 위해서 산업현장과 동일한 자연 환경 조건하에서 신장율을 500%(SMF), 650%(CPP), 700%(SEP)의 시료 3가지에 대해서 시간에 대한 정전기 대전 현상과, 습도 50~70%, 10 kV의 정·부 전압을 인가했을 때

1. 충주대학교 안전공학과
(충북 충주시 대학로 72)

a. Corresponding Author : silee@cjnu.ac.kr

접수일자 : 2009. 9. 10

1차 심사 : 2009. 11. 27

심사완료 : 2009. 12. 17

의 정전기 대전전하량의 대전 특성을 측정하였다. 습도의 증가에 따라 대전전압이 감소하며, SMF, CPP, SEP 에 정·부의 전압을 가했을 때 모두 습도가 증가할수록 대전전압이 감소하는 것을 확인하였다. 또한 SMF, CPP, SEP의 시료 모두 시간이 흘러도 대전의 완화가 일어나지 않음을 확인했는데 이는 절연성이 아주 높게 나타남을 확인했다.

2. 측정 시료 및 장치

2.1 실험장치

본 실험에서는 일본의 시시도 정전기(주)의 정전기를 발생시켜주는 고압직류 코로나 방전식, chopper형, D.C(±) 0~10 kV (가변)인 Static Honestmeter(S-5109), 분석용으로 Honest Analyzer (HO110 V1), 프린터 Terminal Printer DPU-414 (열감지식 SERIAL DOT방식), 습도를 조절하기 위해서 에어컨, 환풍기를 사용하였다. 이 실험에서는 석유에서 얻어진 프로필렌을 지글러-나타 촉매로 중합시킨 것으로, 저압법 폴리에틸렌과 같은 방법으로 만들어진 비중이 0.92, 용해 온도 135~160℃의 폴리프로필렌 필름의 신장율을 500%(SMF), 650%(CPP), 700%(SEP)인 시료를 사용했다.

2.2 측정회로 및 방법

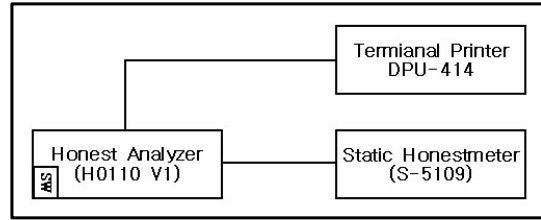
상온에서 환풍기와 에어컨을 활용하여 습도를 약 50%~70% 정도로 변화시킨 환경 하에서 시료를 벤젠으로 세척 후 Static Honestmeter의 Turn Table에 장착했다.

Static Honestmeter의 리드선으로 외부와 연결된 조작 스위치로 턴테이블(Turn Table)을 1,550 rpm의 속도로 회전시키면서 시료에 10 kV의 전압으로 1분간 코로나 전압을 시켰다. 20 mm간격의 시료에 대전되는 대전전압이 3 kV이다. 대전소자의 전하가 시간의 경과와 더불어 누전전류에 의해 감소하는 것을 분석기를 이용하여 50% 정전기 반감 대전 전압을 측정했다. 측정회로를 그림 1(a), (b)에 나타내었다.

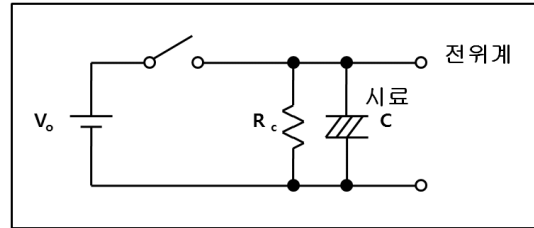
3. 결과 및 검토

3.1 시간에 따른 정전기 완화 특성

그림 2~4는 온도 27.8~28.2℃, 습도 약 70%인 환경 하에서 신장율이 500%, 650%, 700%인 폴리프로필렌 시료의 정전기 대전완화 특성을 측정된 결과이다. 그림 2에서 온도 27.8℃, 습도 70.4%일



(a)



(b)

그림 1. 측정회로.

Fig. 1. Measured circuit.

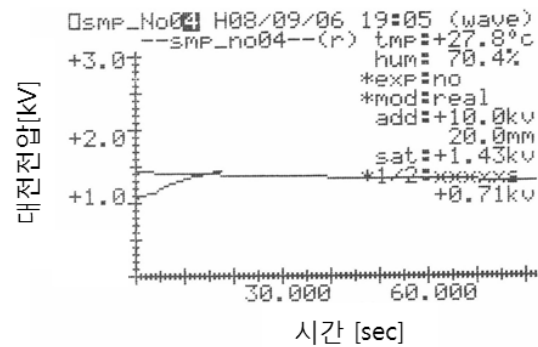


그림 2. 습도 70%, 500% 신장율인 시료에 10 kV 인가했을 때 정전기 대전전압-시간의 특성.

Fig. 2. Properties of electrostatic electrification voltage VS time apply to 10 kV in specimen of elongation 500%, in humidity about 70%.

때 대전전압은 1.46 kV, 그림 3에서 온도 27.4℃, 습도 70.3%일 때 대전전압은 1.46 kV, 그림 4에서 28.2℃, 70.2%일 때 대전전압은 1.20 kV였다.

그림 2~4에서 모두 80초 정도의 시간의 경과와 더불어 정전기 대전의 완화가 일어나지 않고 있으며, 온도의 영향은 거의 영향을 받고 있지 않음을 확인했다. 이는 폴리프로필렌은 CH₃CH=CH₂의 촉매에 의한 부가중합체에 의해 전기절연성이 우수하다고 생각된다.

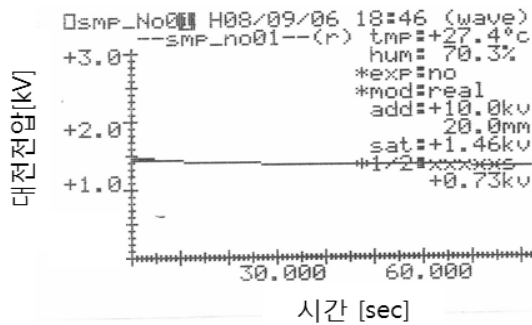


그림 3. 습도 70%, 650% 신장율인 시료에 10 kV 인가했을 때 정전기 대전전압-시간의 특성.
 Fig. 3. Properties of electrostatic electrification voltage VS time apply to 10 kV in specimen of elongation 650%, in humidity about 70%.

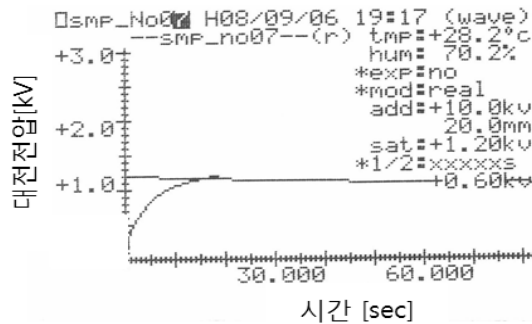


그림 4. 습도 70%, 700% 신장율인 시료에 10 kV 인가했을 때 정전기 대전전압-시간의 특성.
 Fig. 4. Properties of electrostatic electrification voltage VS time apply to 10 kV in specimen of elongation 700%, in humidity about 70%.

3.2 정전압 인가시 정전기 대전완화 특성

그림 5~6은 온도 20.1~28.2°C, 습도 약 52.9~70.4%인 환경 하에서 신장율이 500%, 650%, 700%인 폴리프로필렌 시료에 +10 kV를 가했을 때 정전기 대전완화 특성을 측정된 결과이다.

그림 5에서 온도가 20°C 부근의 습도가 50%, 온도가 20°C 부근의 습도가 60%의 각각의 영역인 경우, 500% 신장된 시료의 정전기 대전전압은 1.22 kV, 1.21 kV 정도이며, 650% 신장된 시료의 정전기 대전전압은 1.25 kV, 1.23 kV 정도로 서서히 증가하다가, 700% 신장된 시료의 정전기 대전전압은 1.22 kV, 1.21 kV 정도의 거의 같은 경향으로 감소함을

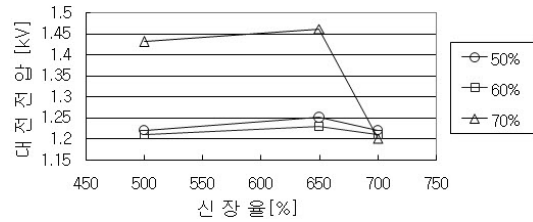


그림 5. +10 kV, 습도 변화에 대한 정전기 대전전압-신장율의 특성.
 Fig. 5. Properties of electrostatic electrification voltage VS elongation due to humidity transition, +10 kV.

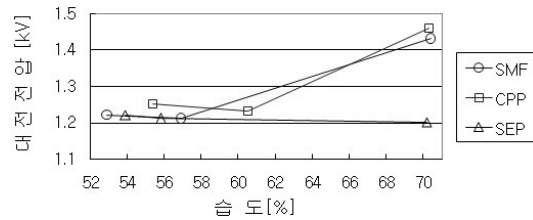


그림 6. +10 kV, 신장율 변화에 대한 정전기 대전전압-습도의 특성
 Fig. 6. Properties of electrostatic electrification voltage VS humidity due to elongation humidity transition, +10 kV.

확인했다. 온도가 28°C 부근의 습도가 50%의 영역인 경우, 500% 신장된 시료의 정전기 대전전압은 1.43 kV, 정도이며, 650% 신장된 시료의 정전기 대전전압은 1.46 kV 정도로 서서히 증가하다가, 700% 신장된 시료의 정전기 대전전압은 1.20 kV 정도로 감소함을 확인했다. 이상의 결과로부터 습도가 50%, 60%, 70% 부근의 상태에서 대전전압은 신장율이 500%에서 650%까지 증가하다 감소함을 알 수 있다.

그림 6에서 온도가 20°C 부근의 신장율이 500% (SMF), 습도가 52.9%에서 1.22 kV, 신장율이 650%(CPP), 55.4%에서 1.25 kV의 대전전압을 나타내며, 온도가 23°C 부근의 SMF, 습도가 56.9%에서 1.21 kV, SMF, 60.5%에서 1.23 kV로 아주 완만하게 낮아지다가 온도가 27°C 부근의 SMF, 습도가 70.4%에서 1.43 kV, 650%(CPP), 70.3%에서 1.46 kV까지로 증가하고 있다. 700%(SEP)인 시료의 경우, 온도가 20.6°C 부근의 습도가 53.9%에서 1.22 kV의 대전전압을 나타내며, 온도가 22.4°C, 습도가 55.8%에서 1.21 kV, 온도가 28.2°C, 습도가 70.2%에서 1.20 kV로 아주 완만하게 감소하고 있다.

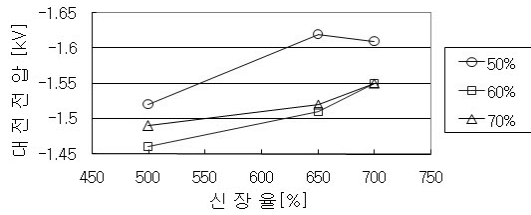


그림 7. -10 kV, 습도 변화에 대한 정전기 대전전압-신장율의 특성.

Fig. 7. Properties of electrostatic electrification voltage VS elongation due to humidity transition, -10 kV.

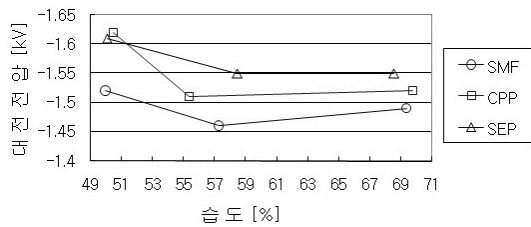


그림 8. -10 kV, 신장율 변화에 대한 정전기 대전전압-습도의 특성.

Fig. 8. Properties of electrostatic electrification voltage VS humidity due to elongation humidity transition, -10 kV.

3.3 부전압 인가시 정전기 대전 특성

그림 7~8은 온도 21.3~29℃, 습도 50.1~69.8%인 환경 하에서 신장율이 500%, 650%, 700%인 폴리프로필렌 시료에 -10 kV를 가했을 때 정전기 대전완화 특성을 측정된 결과이다.

그림 7에서 온도가 24℃, 습도가 60% 상태인 경우, 500% 신장된 시료의 정전기 대전전압은 -1.46 kV정도이며, 650% 신장된 시료의 정전기 대전전압은 -1.51 kV 정도로 서서히 증가하다가, 700% 신장된 시료의 정전기 대전전압은 -1.55 kV 정도로 거의 같은 크기의 같은 경향으로 증가함을 확인했다. 온도가 21℃ 부근의 습도가 50%의 상태인 경우, 500% 신장된 시료의 정전기 대전전압은 -1.52 kV, 정도이며, 650% 신장된 시료의 정전기 대전전압은 -1.62 kV 정도로 부로 증가하다가, 700% 신장된 시료의 정전기 대전전압은 -1.61 kV 정도로 부로 감소함을 확인했다. 이상의 결과로부터 -10 kV 인가시 습도가 50%, 60%,

70% 부근의 상태에서 대전전압은 신장율이 500%에서 650%까지 부로 증가함을 알 수 있다.

그림 8에서 온도가 21℃ 부근의 SMF, 습도가 50%에서 -1.52~-1.62 kV 정도, CPP, 57.3~58.5%에서 -1.46~-1.55 kV의 대전전압을 나타내며, 온도가 28℃ 부근의 SEP, 습도가 68.6~69.4%에서 -1.49~-1.55 kV의 크기로 서서히 부로 증가하고 있다.

이상의 결과로부터 신장율이 500%, 650%, 700%의 시료인 경우 습도가 증가함에 따라 대전완화전압이 부로 감소했다.

그림 2~8에서 시료에 정과 부의 10 kV의 전압을 인가하여 전하의 분포가 정상상태에 도달한 후 전원을 차단했을 때의 시료의 전위를 $V_0[V]$ 라 하면 60초 후에는 누설전류에 의한 전하의 감소분만큼 시료전위가 강하하며, 그 때의 전위 $V[V]$ 는 시료의 누설저항 $R_L[\Omega]$ 과 정전용량 $C[F]$ 에 의해 다음 식으로 주어진다.

$$V = V_0 e^{-\frac{t}{CR_L}} \quad (1)$$

시정수 τ 는 누설저항 $R_L[\Omega]$ 과 비례관계에 있으므로 τ 를 측정하면 대전체의 전하이동에 대한 난이도의 추정이 가능하다. 이 때 분석기에 기록되는 V_0 의 크기는 시료의 누설전하와 코로나 방전에 의해서 공급된 전하가 평형을 이루는 곳에서 결정되며, 대전물체의 절연성능이 높을수록 V_0 가 높고, τ 가 커진다.

시료로 사용한 폴리프로필렌 필름은 대전전압이 높으므로 절연성능도 좋음이 일반 보고된 문헌과 일치한다.

폴리프로필렌은 폴리에틸렌분자 사슬의 주쇄인 탄소에 하나씩 걸러 측쇄인 메틸기(CH₃)가 붙은 것이며, 규칙적으로 짧은 가지가 달린 형태를 하고 있다. 습도에 의한 대전전압의 차가 작은 것은 분자구조 중에 극성부분이 없으므로 전기적 성질이 우수하나 습기를 흡수하지 않기 때문이라 생각된다.

4. 결론

상온에서 신장율이 500%, 650%, 700%인 폴리프로필렌 필름 시료의 습도 50~70% 분위기에서 신장율이 10 kV, 1550 rpm으로 회전시켜서, 정전기 대전전압 특성에 미치는 영향을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 70%의 습도에서 신장율을 증가시켰을 때 시간에 따른 대전전압의 크기가 거의 없는 것을 확인했다.

(2) 10 kV의 전압을 인가시, 신장율이 650%일 때 대전전압은 습도 50~60%인 경우 1.23~1.25 kV 정도로, 70%일 때는 1.46 kV 정도로 서서히 증가하다가 신장율이 700%일 때 1.2 kV 정도로 감소하였다. 또, 습도가 높아질수록 대전전압이 더 증가했다. 그러므로 습도 및 신장율이 정전기 대전전압에 영향을 미친다고 생각된다.

(3) -10 kV의 전압을 인가시, 신장율 및 습도의 증가에 따라 대전전압이 부(-)적으로 증가함을 확인했다.

참고 문헌

- [1] 村崎憲雄, “日本 靜電氣障災害對策(上)”, マグロウ好學社, p. 133, 1987.
- [2] 筏 義人, “高分子 表面の 基礎と 應用”, 化學同人, p. 65, 1981.
- [3] 日本 靜電氣學會, “靜電氣ハンドブック”, オーム社, p. 827, 1986.
- [4] 日本, “靜電氣安全指針”, 勞働性 産業 安全 研究所, p. 42, 1988.
- [5] S. P. Hersh, “Reiew of Electrostatic Phenomena on Textile Material”, Dechema Monogr, p. 72, 1974.
- [6] 이준웅, “물리전자공학”, 동명사, p. 238, 1997.
- [7] 이성일, “EPR의 열화에 의한 충·방전 전류 특성에 관한 연구”, 전기전자재료학회논문지, 21권, 7호, p. 679, 2008.
- [8] 이성일, 성낙진, “전기해방방지공학”, 연학사, p. 320, 2006.
- [9] 정재희, 이덕출, 이동훈, 황명환, 下鐮山, Y. Tabata, “정전기의 기초와 장재해 방지”, 옹보출판사, p. 83, 2006.