

방사선이 조사된 PE와 PP의 전기적 특성에 미치는 습도효과

*강전홍, 김한준, 유광민, **한상옥, ***김종석, #박강석,
*한국표준과학연구원, **충남대학교, ***대전한밭대학교, #대덕대학교

Humidity Effects on Electric Property in γ -Ray Irradiated PE and PP

*J.H.Kang, H.J.Kim, K.M.Yu, **S.O.Han, ***J.S.Kim, #K.S.Park
*KRRISS, **ChungNam Univ., ***Taejon HanBat Univ., #Daeduk College.

Abstract

PE(Polyethylene)와 PP(Polypropylene)의 sheet에 Co^{60} γ -ray 선원을 실은, 대기 중에서 10 kGy, 30 kGy, 50 kGy의 방사선량으로 조사시키고 습도 분포에 따른 표면 및 체적 저항을 측정하고 결과 방사선이 조사되지 않은 시료와 방사선이 조사된 시료와의 저항 값은 큰 차이를 보이지 않았으나 습도 효과에 따른 변화는 습도 분포가 높을수록 저항 값은 상대적으로 낮게 나타났다.

1. 서 론

최근에 폴리에틸렌(이하 PE)을 비롯한 고분자 재료에 대하여 방사선 효과에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있으며, 차세대 절연재료에 대한 신소재 개발에도 많은 관심을 기울이고 있다. 특히 폴리프로필렌(이하 PP)은 PE와 유사한 분자구조를 지니고있어 연구자들의 관심의 대상이 되고 있으며, 경제성, 가공성, 절연성, 절연파괴 강도 등의 특성도 PE와 유사하고 또한 내열 특성이 PE 보다 약 30 °C 이상 우수하여 절연재료로 사용 가능성에 대한 지속적인 연구가 진행중이다⁽¹⁾. 그러나 결정구조 측면에서 보면 PE에 비해 결정과 결정의 계면이 뚜렷하여 한번 트리가 진행되기 시작하면 계면을 중심으로 쉽게 진전하여 절연파괴 현상으로 나타나는 점과 도체의 접촉시에 열화가 쉽게 발생하여 절연특성을 저하시키는 최대의 단점이 있어 아직 활용 가능성에는 더 많은 연구가 필요하다고 본다⁽¹⁾⁽²⁾. PE와 PP 등을 비롯한 고분자 재료의 물리적 특성을 정확하게 이해하기 위해서는 많은 연구가 뒷받침되어야 하고 특히 미시적, 거시적인 측면에서의 폭넓은 기초연구가 요구된다. 따라서 본 연구는 PE와 PP의 sheet에 Co^{60} γ -ray 선원을 실은, 대기 중에서 10 kGy, 30 kGy, 50 kGy의 방사선량으로 조사시키고 방사선이 조사된 시료에 대하여 습도 분포에 따른 표면 및 체적저항을 고찰하고자 하였으며, 측정의 정확도를 높이고자 ASTM D257규격에 의한 전극을 구성하여 습도분포에 따른 저항을 평가하였다.

2. 시료준비 및 실험방법

2.1 시료준비

시료는 밀도 0.935 g/cm³, 용융지수 1.4인 저밀도 폴리에틸렌(LDPE)과 밀도 0.90 g/cm³, 용융지수 8.0인 아이소택틱 폴리프로필렌(i-PP)의 sheet를 호남석유화학 중앙연구소로부터 제공받아 실험에 사용하였으며, 시료의 두께는 약 0.5 mm였다. 또한, 시편의 크기는 ASTM D257(KS M3015)규격의 시험에 적합하도록 PE 및 PP sheet를 10 cm×10 cm의 크기로 절단하고 한국원자력연구소에 의뢰하여 방사선 Co^{60} γ -ray 선원을 실은, 대기 중에서 10 kGy, 30 kGy, 50 kGy의 방사선량으로 조사하였다. 그런 후 각각의 시료에 ASTM D257규격에 맞는 전극을 은분(silver paste) 재료를 사용하여 전극을 구성하고 습도 45%, 90% 조건에서 100시간 이상 동안 환경에 적응시켰다.

2.2 실험방법

방사선이 조사된 PE 및 PP sheet에 ASTM D257(KS M3015)규격에 의한 표면 및 체적 저항을 측정하기 위하여 그림 1(a),(b)와 같은 측정시스템으로 구성된 Keithley사의 test fixture를 사용하였다.

Test fixture는 그림 1처럼 guard 전극을 포함한 3-단자 전극구조로 되어있으며 시료의 상태만 측정조건에 적합하면 쉽게 측정할 수 있다. 그러나 일반적으로 전극과 시료의 접촉이 불완전하기 때문에 측정에 상당한 오차를 가져올 수 있다. 따라서 본 연구에서의 실험방법은 ASTM D257규격에 일치하고 전극과의 접촉에서 오는 측정 불확도를 줄이기 위한 방법으로 은분(silver paste)전극 재료로 하여 전극을 구성하였으며, 구성된 전극 면에 선을 연결하고 측정 전극으로 하여 측정의 정확도를 높이고자 하였다.

실험 방법은 온도를 상온 23 °C로 고정시키고 습도 조건만 조절할 수 있는 습도 챔버를 사용하였으며, 시료가 습도환경에 충분히 적응하도록 하기 위하여 100시간 이상 습도 챔버 안에 넣고 표면 및 체적 저항을 측정하였다. 측정에 사용된 Electrometer는 전압원이 내장되어 있고 전류를 동시에 측정할 수 있는 기기로서 Keithley사의 6517A 모델을 사용하였다. PE와 PP는 사용하고자 하는 재료의 특성 및 용도에 따라서 일반적으로 $10^{12} \sim 10^{16}$ 범위의 고저항 값을 가지고 있다. 특히 고저항 측정에 주의해야 할 점은 사용되는 기기의 guard 및 접지상태를 점검하고 적합하게 연결한 후 측정해야만 안정하고 정확한 측정값을 얻을 수 있다. 본 실험에서의 사용 전압은 기기 내의 DC 100 V를 공급하여 전류를 읽고 오옴의 법칙에 따라 표면 및 체적저항을 계산하였다. 참고로 ASTM D257규격에 따른 기하학적 보정 인자에 의한 정리된 표면 저항율의 계산식은 $R_s = (53.4 \times V)/I$ [Ω /sq]이고, 체적 저항율의 계산식은 $R_v = (22.9 \times V)/(t \times I)$ [$\Omega \cdot cm$]이다⁽³⁾.

본 실험에서 추정되는 습도에 따른 저항의 변화는 온·습도의 조건에 따라 재료의 표면과 내부에 흡착되는 수소 이온들의 영향으로 저항 값은 비례적으로 증가 또는 감소할 것으로 예상되며, 전극과 전극사이에 전압이 공급되면 수분의 흡착 정도에 따라 전하의 이동 속도가 달라지게 되어 저항 값이 변하게 될 것으로 추정된다⁽⁴⁾.

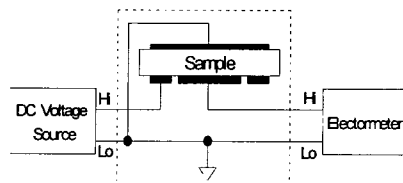


그림 1(a). 표면저항 측정 구성도

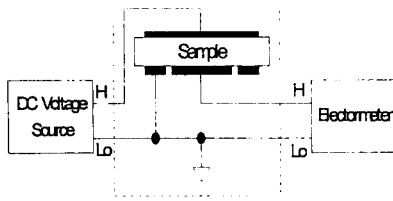


그림 1(b). 체적저항 측정 구성도

2.3 전극의 구성

본 실험은 측정시 시료와 전극간의 접촉에서 올 수 있는 측정 불확도 요인을 최소화하고 안정된 측정값을 얻기 위하여 ASTM D257(KS M3015)규격에 따른 전극 구성용 실크스크린 마스크를 제작하여 PE와 PP sheet에 은분(silver paste)을 전극 재료로 사용하여 스크린 인쇄 방법으로 전극을 형성하였으며, 제작된 실크스크린 마스크와 구성된 전극을 그림 2와 3에 나타냈다.

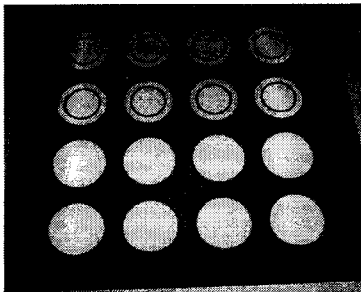


그림 2. 제작된 실크스크린 마스크

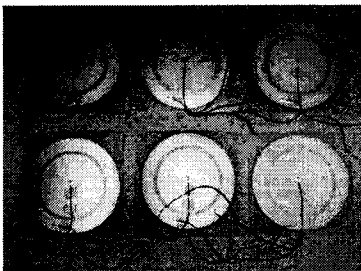


그림 3. 구성된 전극(왼편)

3. 실험결과 및 고찰

표면 및 체적저항은 온도, 습도에 의한 시험 조건과 재료의 물성에 따라 저항 값이 크게 달라질 수 있으며, 특히 습도 효과에 따른 저항을 변화에 대한 영향은 뚜렷한 기준이 없고 단지 물리적인 추정만 하고 있는 것으로 알고 있다. 그만큼 시험환경, 시험의 조건, 전극의 구조 등 각각의 재료에 따른 영향으로 저항율은 크게 달라질 수 있다고 생각된다. 그림 4와 5에 나타낸 바와 같이 방사선이 조사된 시료와 조사되지 않은 PE와 PP시료의 표면 및 체적 저항은 동일한 습도에서 모두 큰 변화를 나타내지 않았다. 여기서 x축의 0 kGy는 방사선이 조사되지 않은 sheet 이다. 습도효과에 대한 고찰결과 습도의 조건이 45 %일 때 보다 90 %일 때 표면 및 체적 저항이 습도효과에 의해서 감소함을 나타내고 있으며, 이는 습도가 증가함에 따라 수분이 시료의 표면 및 내부에 흡착 또는 침투하여 전류의 흐름이 보다 용이하여 저항이 감소하는 것으로 추정된다. 그림 4의 표면저항 측정결과에서 표면저항값의 심한 변동(fluctuation)

은 앞서 언급한 측정 전극의 형태와 조건, 시료의 상태 등에서 야기되는 오차로 보여진다.

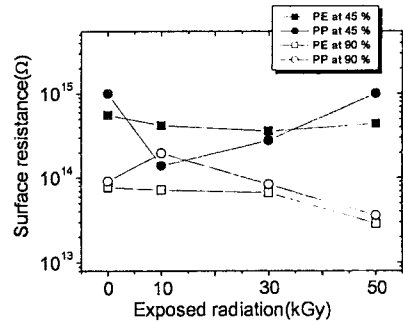


그림 4. 습도효과에 따른 표면저항의 변화

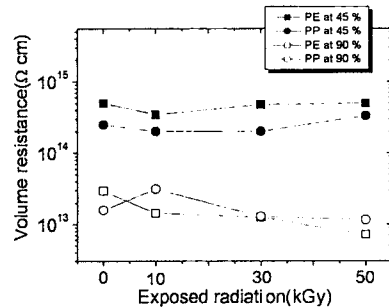


그림 5. 습도효과에 따른 체적저항의 변화

4. 결론

방사선이 조사되지 않은 시료와 방사선이 조사된 PE 및 PP시료에 대한 습도효과와 방사선 효과에 따른 저항의 변화를 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 습도 90 %조건에서의 표면 및 체적 저항값이 습도 45 %조건에서의 표면 및 체적 저항값보다 적게 나타났다.
- 2) 방사선이 조사된 시료의 저항값이 조사되지 않은 시료에 비교하여 저항값이 다르게 나타날 것으로 추정하였으나 큰 영향이 없는것으로 나타났다.
- 3) 향후 여러 범위의 습도분포에서 방사선의 영향에 따른 고분자 재료의 저항을 변화에 대한 체계적인 연구가 요구된다.

[참고문헌]

- [1] 吉野勝美, 加藤寛, "새로운 고분자 절연재료의 폴리프로필렌과 응용" 日本電氣學會誌, 제116 권 11호, p.p.745-748, 1996.
- [2] 강건홍외, "폴리프로필렌의 결정구조와 절연과괴 특성에 관한 연구", 대한전기학회 논문집, 제D권 전기재료, p.p 1428-1431, 1998. 7.
- [3] ASTM D 257-93(Reapproved 1998) "Standard Test Methods for DC Resistance or Conductance of Insulating Materials"
- [4]Field, R. F., "How Humidity Affects Insulation, Part I, D-C Phenomena." General Radio Experimenter, Vol 20, Nos. 2 and 3, July-August,1945.