

방사선이 조사된 폴리프로필렌의 유전특성과 열화현상

*강전홍, 김한준, 유광민, **박강식, ***김중석, 〚한성욱,
 *한국표준과학연구원, **대덕대학교, ***대전산업대학교, 〚충남대학교

The dielectric and degradation properties of Polypropylene exposed Radiation

*J.H.Kang, H.J.Kim, K.M.Yu, **K.S.Park, ***J.S.Kim, 〚S.O.Han
 *KRISS, **Daeduk College, ***Taejon Nat'l Univ. of Tech., 〚ChungNam Univ.

Abstract

방사선이 조사된 폴리프로필렌의 유전특성을 고찰한 결과 방사선 조사량이 40 kGy이하의 경우에는 유전상수가 서서히 증가하였으나, 40 kGy이상에서는 급격한 증가를 나타냈다. 또한, 방사선이 결정에 미치는 영향은 결정과 결정의 경계면에서 열화현상이 발생하는 것으로 관측되었고, 방사선의 세기가 증가할 수록 열화공의 수도 증가하는 것으로 나타났다.

1. 서 론

최근 급속한 산업 발전으로 전력 수요가 날로 증대되고 있으며, 이에 따라 전력기기, 전력 케이블 등의 절연재료에 대한 성능향상은 물론 높은 신뢰도가 요구되고 있다. 현재 절연재료로 사용되고 있는 폴리에틸렌(이하 PE)은 전력케이블이나 절연전선 등 절연재료로 광범위하게 사용되고 있으며, 내열특성을 강화하기 위해 가교 등의 중합방법으로 특성을 향상시켜 사용하고 있다.^[1]

또한, 전력수요의 증가에 따른 전력계통이 고전압 대용량화됨에 따라 절연재료도 전기적 특성은 물론이고, 내열특성도 보다 더 우수한 절연재료가 요구되는 시점에 와 있다.

유기재료인 폴리프로필렌(이하 PP)은 현재 다용도로 폭넓게 사용하고 있는 재료이나 동과의 접촉시 열화하는 현상 때문에 전기절연재료로서는 사용되지 않고 있다.

그러나, PP는 내열특성이 PE에 비해 약 30 °C이상 높기 때문에 절연재료로 사용을 위한 연구가 선진 여러 나라에서 다각적으로 이루어지고 있으며, 이에 따른 전기적, 물리적 특성 등 절연 매카니즘에 대하여 많은 연구가 진행되고 있다.^[2,3]

반면에 우리 나라는 이에 대한 연구가 극히 미흡한 실정이며, 특히 방사선이 절연 케이블 등에 미치는 영향에 대해서는 전무한 상태이다. 일반적으로 대기중의 방사선의 세기는 미약하여 인체나 절연 케이블에는 큰 영향을 미치지 않으나, 원자력관련 등 방사선이 많이 사용되는 장소에서의 전기 절연 케이블은 시멘트로 매립하여 사용하거나 특수 케이블을 사용하고 있다. 그러나, 방사선량이 높은 장소에서의 노출된 절연 케이블은 그 수명이 극히 저하하여 방사선이 많은 영향을 미치고 있음을 간접적으로도 알 수 있다. 따라서, 본 연구는 높은 방사선이 사용되는 장소에서의 PP가 절연 케이블로 사용된다면 방사선이 결정구조에 미치는 영향과 유전특성 등에 대하여 고찰하였다.

2. 시편제작 및 실험방법

2.1 시편제작

본 실험에 사용한 시료는 밀도 0.90 g/cm³, 용융지수 3.0인 Isotactic Polypropylene 펠렛을 제조회사로부터 구입하여 Kocosol-100(Boiling point, 155 ~ 170 °C)용매를 사용하여 순수한 PP시료를 얻기 위하여

정제하였으며, 정제 시스템을 그림 1에 나타냈다.

일반적으로 펠렛 상태의 시료는 각종 첨가제나 촉매 잔류물 등이 혼합되어 있어 순수한 재료 자체의 특성을 보기에는 어렵다. 따라서, 불순물 등에 의한 저 분자량 효과를 최소한으로 줄이기 위하여 정제시스템을 구성하고 2회 정제하여 사용하였다.

정제방법으로서 PP펠렛 1 g과 용매 100 ml를 비이커에 넣고, 170 °C까지 충분히 가열하여 용해시킨 후 그 용액을 플라스크, 진공펌프 등으로 구성된 정제시스템을 이용하여 정제하였으며, 정제에 사용한 유리필터는 10~15 μm급을 사용하였다. 이때, 유리필터 내부의 용액이 용고되지 않도록 유리필터 외부에 열선을 감아 내부의 온도가 약 130 °C를 유지하도록 하였다.

정제된 시료는 밀가루처럼 하얀 분말로서 얻어졌으며, 정제된 PP를 1.0 Wt%의 용액으로 만들고 교반기를 사용하여 충분히 가열, 용해시킨 다음 스포이드로 유리기판 위에 적하하여 박막을 만들었다.^[4] 그런 다음 시편에 먼지 등의 불순물이 달라붙지 않도록 데시케이터 안에 넣고 자연 건조시켰다.

건조된 PP박막의 결정을 형성시키기 위하여 시편을 유리튜브 안에 넣고, 진공펌프를 사용하여 10⁻³ Torr로 진공화 한 후 밀봉하여 전기로에 넣고 열처리하였으며, 열처리용 유리튜브를 그림 2에 나타냈다.^[5]

또한, PP의 유전특성을 측정하기 위하여 PP펠렛을 hot press 방법으로 0.5 mm두께의 sheet를 만들었으며, 그림 3에 나타냈다.

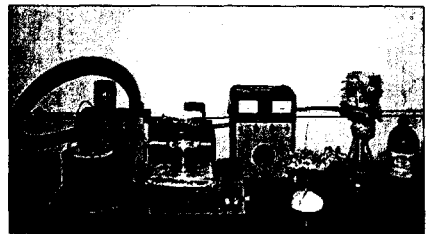


그림 1. 정제 시스템

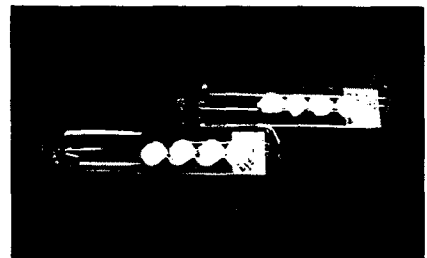


그림 2. 열처리용 유리튜브

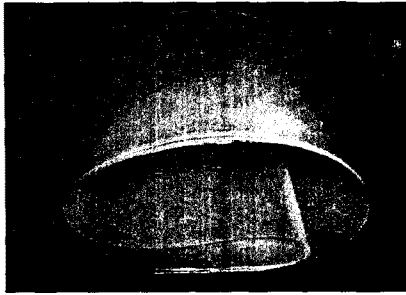


그림 3. PP sheet

2.2 실험방법

방사선이 PP박막의 결정에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 결정이 형성된 PP박막에 Co^{60} γ -ray 선원을 실은, 대기 중에서 10 kGy와 30 kGy로 각각 조사 시켰다. 그리고, 방사선 조사에 의한 유전특성을 고찰하기 위하여 5개의 PP sheet에 10, 20, 30, 40, 50 kGy의 방사선을 각각 조사시켰으며, 유전특성실험은 ASTM 규격에 의한 전극을 구성하여 측정하였으며, 측정 전극 구조를 그림 4에 나타냈다. 또한, 실험의 정확성을 기하기 위하여 1 kHz 전용 Capacitance Bridge(AH 2500A)를 사용하여 capacitance값을 측정하였으며, 외부 노이즈에 의한 영향을 제거하기 위하여 노이즈 챔버를 제작했다. 측정 시료를 챔버안의 전극에 연결하고 측정하였으며, 측정기기와 챔버를 그림 5, 6에 나타냈다.

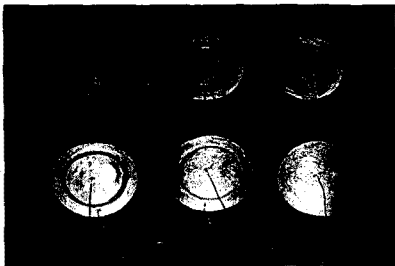


그림 4. 유전특성 측정시료

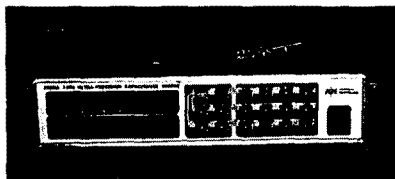


그림 5. Capacitance Bridge



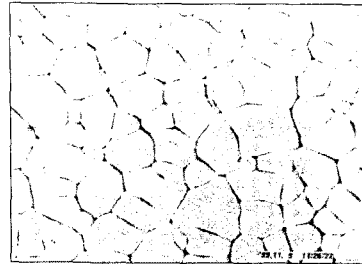
그림 6. 노이즈 방지용 챔버

3. 실험결과 및 고찰

3.1 방사선이 PP박막의 결정에 미치는 영향

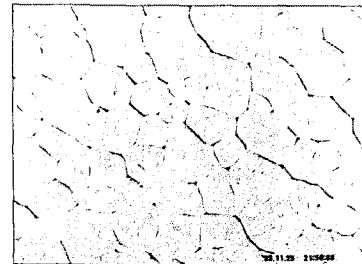
결정이 형성된 PP박막의 시료에 10 kGy와 30 kGy의 세기로 방사선을 조사시킨 결과 결정과 결정의 계면에서 열화현상이 발생하고 있음을 광학현미경을 사용하여 관측하였다.

방사선을 조사시키기 전의 결정구조를 그림 5에 나타냈고, 방사선의 세기가 10 kGy, 30 kGy일 때의 열화상태를 그림 6, 7에 각각 나타냈다. 그림에서 나타난 결과로서 방사선이 결정에 미치는 영향은 열화를 일으킨다는 점이고, 방사선의 세기가 증가함에 따라 그 열화공의 수도 증가하는 것으로 보아 열화의 정도도 방사선의 세기에 따라 비례적으로 나타남을 추정할 수 있다.



(x 200)

그림 5. 방사선 조사전의 결정구조



(x 200)

그림 6. 10 kGy로 조사된 시료



(x 200)

그림 7. 30 kGy로 조사된 시료

3.2 유전 특성

PP의 유전특성을 고찰하기 위하여 방사선을 10, 20, 30, 40, 50 kGy로 조사시켜 유전상수를 측정한 결과 10 ~ 40 kGy범위에서의 유전상수는 서서히 증가하였으나, 40 kGy 이상부터는 급격한 증가가 발생하는 것으로 나타났다. 이것은 방사선 조사량이 어느 부분 이상이 되었을 때 탄탄한 연결 고리로 구성된 탄소의 분자쇄가 끊어져 고유의 성질을 잃어버린 것으로 추정된다.

실험결과 결정과 결정의 계면에서 주로 열화현상이 나타난 것으로 보아 그 곳에서 방사선량이 집중되고 결정

이 파괴되어 열화가 발생하는 것으로 판단된다. 또한, 일정부분이상 열화가 발생하게 되면 결정구조에 많은 영향을 미치게 되어 유전상수가 급격히 증가하는 것으로 생각할 수 있으며, 측정결과를 그림 8에 나타냈다.

유전상수는 $\epsilon_r = C \cdot d / \epsilon_0 \cdot S$ 로서 계산된다. 여기서, d : 박막의 두께(μm), S : 단면적(mm^2), C : 정전용량(μF), ϵ_0 : 유전율(8.855×10^{-12}), ϵ_r : 비유전율이다.

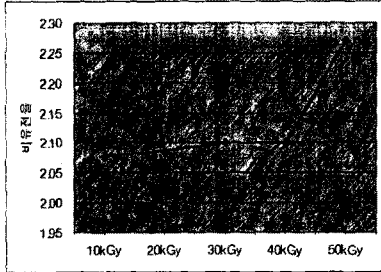
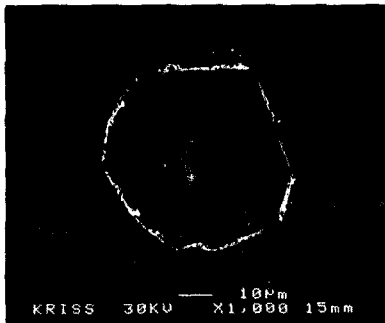


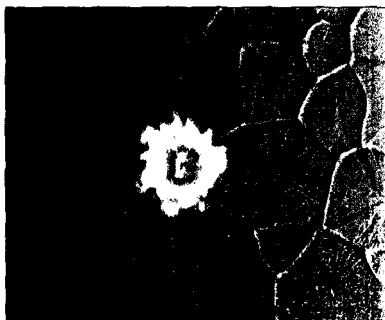
그림 8. 유전상수 측정결과

3.3 절연파괴공과 열화공의 비교

전기적 특성으로서 이미 보고된바있는 PP박막의 절연 파괴공은 결정과 결정의 경계면에서 주로 나타난 것처럼 방사선 조사에 의한 열화공 역시 그 경계면에서 나타났다. 결국 그 경계면이 전기적, 물리적 특성 등에 있어서 가장 취약한 지점으로 판단된다. PP박막의 절연파괴공과 열화공을 그림 9, 10에 각각 나타냈다.



(x 1000)
그림 9. 절연파괴공



(x 500)
그림 10. 열화공

4. 결론

방사선에 의한 PP의 유전특성과 열화현상을 고찰하기 위하여 결정이 형성된 PP박막과 PP sheet에 방사선을 조사시키고, 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 방사선이 PP의 유전특성에 미치는 영향은 10 kGy ~ 40 kGy범위에서는 유전상수가 서서히 증가하는 경향을 보이고 있으나, 40 kGy이상에서는 급격한 증가를 보였다.
2. 방사선이 PP박막의 결정에 미치는 영향은 결정과 결정의 경계면에서 열화를 일으키는 것으로 나타났다.
3. 열화현상은 결정과 결정의 경계면에서만 발생하였으며, 그 경계면이 열화의 취약지점으로 나타났다.
4. 열화공의 수는 방사선의 세기가 증가할 수록 비례적으로 나타났다.

[참고 문헌]

- [1] 서광석, 이창용, "지중 배전 전력케이블용 절연재료의 개발동향", *대한전기학회지*, 제46권 4호, p.p 34-39, 1997. 4
- [2] 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.
- [3] M. Ieda, "Dielectric Breakdown Process of polymers", *IEEE Trans. on Electrical Insul.* Vol. EI-15, No. 3, 1980.
- [4] 김석기, "고밀도 폴리에틸렌 박막의 절연파괴특성 연구", *충남대학교석사학위논문*, 1995. 4.
- [5] 강전홍외, "폴리프로필렌의 결정구조와 절연파괴 특성에 관한 연구", *대한전기학회 논문집*, 제D권 전기 재료, p.p 1428-1431, 1998. 7.