

방사선이 조사된 폴리에틸렌의 결정형상과 유전특성

*강진홍, 김한준, 유광민, **한상욱, ***김중석, ♯박강식,
*한국표준과학연구원, **충남대학교, ***대전산업대학교, ♯대덕대학교

The crystal structure and dielectric properties of Polyethylene exposed Radiation

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

Abstract

방사선이 폴리에틸렌 박막의 결정구조에 미치는 영향은 결정구조의 전 영역에서 결정 격자의 결합으로 나타났으며, 이는 탄탄한 연결고리를 형성하고 있는 분자쇄의 단절로 인하여 결정 내부 및 표면에서 화학작용에 의한 기포가 발생한 것으로 판단된다. 또한, 방사선량의 증가에 따라서 그 결합은 비례적으로 증가하였으며, 주파수에 따른 유전특성 고찰결과는 10 MHz이상의 범위에서 유전율이 급격히 증가하였다.

1. 서 론

현재 전기 절연체로 가장 많이 사용되고 있는 폴리에틸렌은 전기적, 물리적 특성 등이 우수하여 절연 케이블 등에 널리 사용되고 있다. 그러나, 이러한 고분자 재료들은 방사선에 노출될 경우 취약한 단점을 갖고 있어 이로 인한 절연성능의 저하로 인하여 심각한 문제를 초래할 수 있다¹⁾. 그 동안 폴리에틸렌에 대한 전기적 특성, 절연파괴특성 등 절연 메카니즘에 대한 연구는 이미 많은 연구가 진행되어 보고되고 있으나, 방사선이 그 절연특성에 미치는 영향에 대한 연구는 극히 미흡한 실정이다. 일반적으로 대기중의 방사선의 세기는 미약하여 인체나 절연 케이블에는 큰 영향을 미치지 않으나, 원자력관련 등 방사선에 많이 노출되어 사용되는 장소에서의 절연 케이블은 사용 시간의 경과에 따라서 절연성능이 저하될 수 있다. 특히, 방사선 장내에서 사용되어지는 재료들은 내 방사선성을 필수적으로 가져야 하나 방사선에 의한 절연체로의 평가가 아직은 명확하게 이루어지지 않은 시점에 있어서 방사선이 폴리에틸렌의 결정구조에 미치는 영향과 절연성능 및 유전특성 평가 등이 필요하다고 생각된다. 따라서, 본 연구는 폴리에틸렌 펠렛을 박막과 sheet를 만들어 방사선을 조사시킨 후 폴리에틸렌 박막의 결정구조에 일어난 변화와 주파수 범위에 따른 유전특성을 평가하였다.

2. 시편제작 및 실험방법

2.1 시편제작

본 실험에 사용한 시료는 밀도 0.935 g/cm³, 용융지수 1.4인 저밀도 폴리에틸렌(LDPE)의 펠렛을 제조회사로부터 구하여 실험하였다. 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 구성하여 정제한 후 실험하였다.

정제 방법은 LDPE의 펠렛 1 g과 용매(Xylene) 100 ml를 비이커에 넣고, 교반기를 사용하여 140 °C 정도 충분히 가열하여 용해시킨 후 그 용액을 진공펌프 및 플라스크 등으로 구성된 정제시스템을 이용하여 정제하였으며, 정제에 사용한 유리필터는 10~15 μm급을 사

용하였다. 정제된 시료는 밀가루처럼 하얀 분말로서 그림 1처럼 얻어졌으며, 박막은 정제된 시료를 0.5 Wt%의 용액으로 만들고 열교반기로 충분히 가열, 용해시킨 다음 스포이드로 유리기관 위에 적하하여 박막을 만들었다^{2),3)}. 또한, 박막에 먼지 등 불순물에 의한 영향을 줄이기 위하여 대기케이터 안에 넣고 용매가 자연 휘발되도록 하여 건조시켰다. 결정을 형성시키기 위하여 건조된 박막 시편을 PID 계어가 가능한 전기로에 넣고 상온에서부터 140 °C까지 30분 동안 상승시키고, 20분 동안 유지시킨 후 상온으로 내리는 방법으로 열처리하여 결정을 형성시켰다⁴⁾. 또한, 주파수 범위에 따른 유전율을 평가하기 위하여 순수한 폴리에틸렌 펠렛을 가열 압축 방법으로 0.5 mm두께의 sheet를 만들었으며, 그림 2에 나타났다.

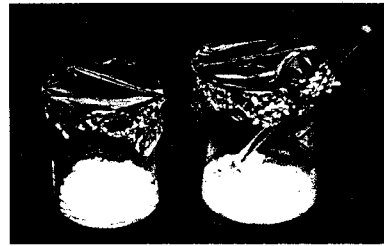


그림 1. 정제된 시료

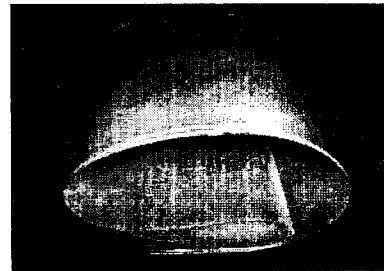


그림 2. 폴리에틸렌 sheet

2.2 실험방법

방사선이 LDPE 박막의 결정에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 결정이 형성된 박막에 Co⁶⁰ γ-ray 선원을 실은, 대기 중에서 10 kGy와 50 kGy로 각각 조사시킨 후 광학현미경을 사용하여 고찰하였다. 그리고, 주파수에 따른 폴리에틸렌의 유전특성을 평가하기 위하여 폴리에틸렌 sheet에 10, 20, 30, 40, 50 kGy의 방사선을 각각 조사시켰다. 유전특성 실험은 ASTM D257 규격에 의한 전극을 그림 3과 같이 구성하여 측정하였으며, 전극 재료는 은분을 사용하였고 전극형성은 마스크 인쇄 방법으로 하였다. 또한, 주파수에 범위에 따른 전기용량을 측정하기 위하여 Impedance analyzer를 사용하여

으며, 외부 노이즈에 의한 영향을 줄이고 측정의 정확성을 기하기 위하여 노이즈 차폐 챔버를 제작하여 측정하였다. 측정 방법은 시료를 챔버안의 전극에 연결하고 측정하였으며, 측정기기와 챔버를 그림 4, 5에 나타냈다.



그림 3. ASTM D257규격에 의한 전극

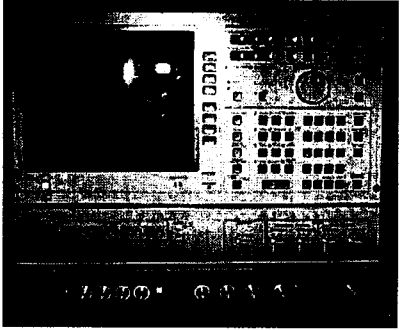


그림 4. Impedance Analyzer

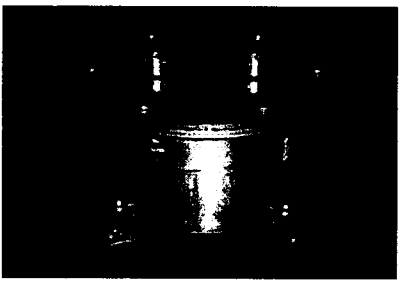


그림 5. 노이즈 차폐 챔버

3. 실험결과 및 고찰

3.1 방사선이 LDPE박막의 결정구조에 미치는 영향

방사선이 LDPE 박막의 결정구조에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 결정이 형성된 LDPE박막에 10 kGy와 50 kGy의 방사선을 각각 조사시킨 후 광학현미경을 사용하여 결정구조를 고찰한 결과 결정구조의 전 영역에서 방사선에 의한 화학작용으로 기인한 가스가 발생하여 결정의 표면에 기포가 발생하였다. 이는 방사선이 탄탄한 구조로 결정을 형성하고 있는 분자쇄간의 고리를 끊어 결정 격자간에 중대한 결합으로 작용하여 결국 절연성을 저하시키는 트리나 열화현상의 결정적인 요인으로 작용할 것으로 판단된다. 또한, 방사선의 조사량이 10 kGy일 때는 적은 분포로 열화에 의한 기포가 발생하였으나, 50 kGy일 때는 급격한 증가를 보여 방사선이 폴리에틸렌의 절연특성에 중대한 영향을 미치고 있음을 추정할 수 있다. 방사선을 조사시키기 전의 결정구조와 조사시킨 후의 결정구조를 비교하기 위하여 그림 6에 방사선 조사전의 사진을 나타냈고, 그림 7에 방사선의 세

기가 50 kGy일 때의 결정상태를 각각 나타냈다. 방사선 조사 후의 사진을 보면 작은 기포가 분포되어 있는 것을 관찰할 수 있다.

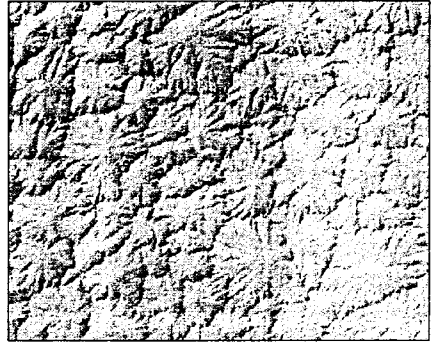


그림 6. 방사선 조사전의 결정구조

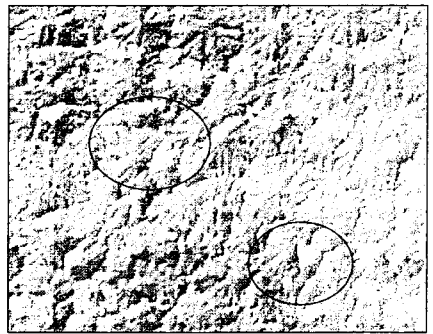


그림 7. 방사선이 조사된 결정구조

3.2 유전 특성

방사선에 의한 폴리에틸렌의 유전특성을 고찰하기 위하여 방사선을 10, 20, 30, 40, 50 kGy로 조사시켜 주파수 범위에 따른 유전율을 측정된 결과 10 MHz이하의 주파수 범위에서 유전특성은 방사선 조사량에 따라 큰 변화는 없으나 10 MHz이상의 주파수 범위에서 유전율이 급격하게 증가하는 것으로 나타났으며, 방사선이 조사되지 않은 시료에 비해 방사선이 조사된 시료의 유전율이 전체적으로 높게 나타나고 있어 결국 방사선의 영향이 유전특성에도 많은 영향을 미치고 있음을 추정하고 있으며, 그 측정결과를 그림 8에 나타냈다. 유전율은 $\epsilon_r = C \cdot d / \epsilon_0 \cdot S$ 로서 계산되었으며, 여기서, d : 박막의 두께(μm), S : 단면적(mm^2), C : 정전용량(μF), ϵ_0 : 유전율(8.855×10^{-12}), ϵ_r : 비유전율이다.

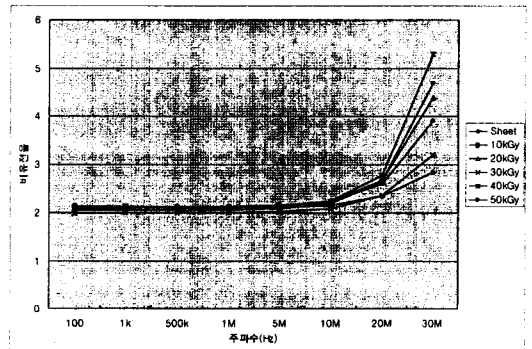


그림 8. 유전특성 평가

4. 결론

방사선에 의한 폴리에틸렌의 결정구조에 미치는 영향과 유전특성을 고찰하기 위하여 결정이 형성된 폴리에틸렌 박막과 sheet에 방사선을 조사시키고, 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 방사선이 LDPF박막의 결정구조에 미치는 영향은 결정의 전 영역에서 방사선에 의한 분자쇄의 파괴 및 단절로 추정되는 기포가 발생하여 절연특성에 중대한 영향을 미칠 것으로 판단되며, 이는 전기적 트리와 열화현상으로 발전할 것으로 생각된다.
2. 방사선에 의한 결정구조의 결합은 방사선량에 따라 비례적으로 증가하는 것으로 나타났다.
3. 방사선이 유전특성에 미치는 영향은 방사선이 조사된 시료가 조사되지 않은 시료에 비해 주파수 범위 10 MHz이상에서 유전율이 크게 나타나 결국 방사선이 유전특성에도 많은 영향을 미치고 있는 것으로 추정된다.
4. 주파수 범위에 의한 유전특성은 결정구조의 결합에 의한 특성의 변화로 보이거나 명확하게 분석하기가 어려워 절연내력시험 등의 평가가 이루어진 후 판단해야 될 것으로 사료된다.

[참고 문헌]

- [1] 이청 외 "저밀도 폴리에틸렌의 방사선 조사에 따른 전기트리특성변화", 대한전기학회논문집, 제 D권, p.p 1992-1994, 1999
- [2] 김석기, "고밀도 폴리에틸렌 박막의 절연파괴특성 연구", 충남대학교석사학위논문, 1995. 4.
- [3] 신동국, "폴리에틸렌의 절연파괴특성에 미치는 결정구조의 영향", 대전산업대학교석사학위논문, 1996.8
- [4] 강전홍외, "폴리프로필렌의 결정구조와 절연파괴특성에 관한 연구", 대한전기학회 논문집, 제D권, 전기재료, p.p 1428-1431, 1998. 7