

미연신 저밀도 폴리에틸렌 필름의 연신비에 따른 절연강도 특성에 관한 연구

곽 영 순 , 이 종 호 , * 박 태 경
부산대학교 전기공학과

A Study on the Dielectric Strength Characteristics
by drawing ratio of undrawn Low-Density Polyethylene

Yong Soon Kwak , Jong Ho Lee , Tai Kyung Park
(Pusan National University Electrical Eng.)

1. 서 론

결정성 고분자인 폴리에틸렌은 전기적성질, 기계적 특성 및 가공성과 뛰어난 유전적특성을 가지므로 전기적 절연물로 널리 이용되고 있다. 또한 유연성과 내구력 및 화학적성질이 안정되고 다습하에서도 그 물성이 크게 변화하지 않으므로 용기의 제작 및 일상생활에 있어 필름의 기반재료등 광범위한 일반산업의 기초재료로서 사용되고 있다.

일반적으로 결정성 고분자재료는 필름상으로 만드는 제조 공정중에서 연신과 열처리과정에서 그 고분자체의 배향과 내부결정화도가 변화하게 된다. 이러한 고분자의 배향도의 변화 및 결정화도의 증가는 결정성 고분자의 전기적 및 기계적특성에 많은 영향을 미치게 된다.¹⁻⁴⁾

최근 전력수요의 급격한 증가에 따른 계통 및 관련기기의 초고압화, 소형화 경향과 더불어 고분자 절연물의 신뢰성을 향상시키기 위하여 기계적특성에 따른 전기적 절연 특성에 관한 연구가 필요한 시점에 있다.

본 연구에서는 통신용 케이블 절연용으로 각광을 받고 있는 저밀도 폴리에틸렌 필름을 사용하여 이 시료에 대한 기계적 연신과 전기적 절연강도특성과의 상관관계를 연구하기 위하여 고온에서 각 연신비로 연신을 행한 후 각 연신비에 따른 유전정접, 비유전율 및 밀도변화를 측정하고 전기적 절연강도특성을 측정하여 비교 검토하였다.

한편, 상온에서 시료를 측정하여 고온에서 연신한 시료의 절연강도특성과 비교 검토함으로써 기계적 연신에 따른 전기적 절연특성과의 상관관계를 규명하였다.

2. 시료 제작 및 실험방법

2-1. 시료 제작

본 연구에 사용되었던 시료는 열가소성이며 결정성 고분자인 저밀도 폴리에틸렌(미연신)이다. 이 시료의 연신에 따른 유전적특성 및 절연강도특성을 구하기 위하여 시료의 크기를 160 mm X 160 mm , 두께 100 ± 5 μm 의 판상으로 제작하였다. 그리고 시료를 연신시키기 위하여 100°C 의 물속에 설치되어 있는 연신장치에 미연신 시료를 설치하여 연신비 100, 150, 200, 250, 300, 350 및 400%인 시료를 제작하였다. 이때 연신비는 다음식으로 계산되어진다.

$$\text{연신비} = \frac{\text{연신후의 길이} - \text{최초의 길이}}{\text{최초의 길이}} \times 100\%$$

2-2. 실험장치

각 연신비에 따른 밀도변화의 측정은 밀도구배법으로 측정하였고, 유전정접, 비유전율의 측정은 Precision Tanδ and C Bridge meter (TEITEX AG Co.) 를 사용하였다. 그리고 절연강도특성의 측정에 있어 사용한 전극은 구대 평판전극을 사용하였으며, 사용전압은 정극성 직류전압 및 교류전압이다.

3. 실험결과 및 고찰

그림1은 각 연신비에 따른 밀도와 결정화도변화를 나타내고 있다. 이 그림에서 연신비가 증가할 수록 밀도 및 결정화도가 증가함을 알 수 있다. 이러한 경향은

연신을 행하므로 고분자의 재결정화가 일어나고 이와 더불어 연신축 방향으로 배향이 형성되므로 일어나는 연신인 것으로 생각된다.²⁾

그림2는 연신비를 달리한 시료에 대한 전계강도 - $\tan \delta$ 특성곡선을 나타내고 있다. 이 그림에서 알 수 있듯이 연신비의 증가와 더불어 $\tan \delta$ 값은 감소하는 경향을 보이고 있으나, 연신비가 약 350% 이상에서는 다시 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 경향은 연신비의 증가와 더불어 재결정화가 일어나 밀도 및 결정화의 증가를 가져오므로 전자의 트랩부분이 증가하고, 또한 앤드포머의 값이 적어지므로 $\tan \delta$ 값이 감소하는 것으로 생각된다.^{5,6)} 이와 달리 연신비가 약 350% 이상에서 $\tan \delta$ 값이 증가하는 이유는 다음과 같이 생각할 수 있다. 즉 350% 이상의 연신을 행하면 라멜라의 팽창에 의한 주축의 절단 및 라멜라간의 축쇄의 미끄럼 현상에 의하여 마이크로 크랙 및 보이드 발생이 나타나 고분자 내부의 부분방전발생과 비정질 부분의 오팜 식트 거리의 감소에 의하여 전도전류의 증가 하기 때문인 것으로 생각되어 진다.

그림3은 연신비에 따른 비유전율변화특성을 나타내고 있다. 이 그림에서 비유전율은 연신비의 증가와 더불어 감소하는 경향을 가지고 있으나, 연신비가 약 350% 이상에서는 오히려 증가하는 경향을 나타내고 있다.

일반적으로 결정성 고분자는 연신을 행하므로서 밀도 및 결정화도를 증가시킬 수 있으며, 또한 쌍극자배열을 연신축 방향으로 배향시키고, 쌍극자의 운동을 억제시키는 경향이 있으므로 쌍극자의 활성화 에너지가 증가된다. 즉 이와 더불어 쌍극자의 완화시간(τ)이 길어지므로서 다음식에 의하여 비유전율이 감소되는 것을 알 수 있다.

$$\epsilon = \epsilon_{\infty} + \frac{\epsilon_s - \epsilon_{\infty}}{1 + (\omega\tau)^2}$$

여기서 ϵ_s : ΔC 전계로 충전이 긴 시간우의 정적 유전율

ϵ_{∞} : 쌍극자 배향이 일어나지 않을 정도의 주파수에서의 값으로 순간 유전율

τ : 쌍극자의 완화시간

그리고 연신비가 350% 이상 일때는 라멜라간의 축쇄 및 라멜라의 팽창에 의한 주축의 절단에 의하여 마이크로 크랙 및 보이드가 발생하므로서 일시적인 정전용량의 증가를 가져오므로 비유전율이 증가하는 것으로 생각된다.

그림4는 상온 및 고온에서 시료의 연신을 행한 후 연신비에 따른 직류절연강도특성을 나타내고 있다. 이 그림에서 절연강도는 연신비의 증가와 더불어 증가하는 경향을 가지고 있으나 연신비가 각각 150% 및 350% 이상에서는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 일반적으로 결정성 고분자는 연신을 행하면 고분자 내부의 자유체적의 변화를 가져오고, 이러한 자유체적 변화는 자유전자의 평균자유행정거리의 변화를 가져오므로 고분자 재료의 전기 및 기계적 특성에 영향을 미치게 된다.

즉 연신비의 증가와 더불어 절연강도가 증가하는 것은 연신비의 증가와 더불어 고분자의 점적율이 커지고, 전자의 평균자유행정거리가 짧아지므로 절연강도가 증가한다. 그러나 연신비가 각각 150% 및 350% 이상 일때는 라멜라의 팽창에 의한 주축의 절단 및 라멜라간의 축쇄의 미끄럼등에 의한 마이크로 보이드 및 크랙이 발생하여 내부방전이 일어나므로 절연강도가 급격하게 감소하는 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서는 저밀도폴리에틸렌 필름의 연신비에 따른 유전점, 비유전율, 밀도 및 절연강도의 실험을 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 연신비가 증가할수록 $\tan \delta$ 값은 줄어드는 경향을 보이고 있으나, 연신비가 약 350% 이상에서는 증가하는 경향을 나타내고 있다.
2. $\tan \delta$ 특성의 주위온도의 증가와 더불어 감소하는 경향을 나타내고 있다.
3. 연신비의 증가와 더불어 ϵ 값은 감소하는 경향을 나타내고, 연신비가 350% 이상에서는 증가하는 경향을 나타내고 있다.
4. ϵ 특성의 주위온도의 증가와 더불어 감소하는 경향을 나타내고 있다.
5. 절연강도특성은 연신비의 증가와 더불어 증가하는 경향 보이고, 연신비가 각각 150% 및 350% 이상에서 감소하는

경향을 나타내고 있다. 그리고 연신비가 약 150% 및 350% 근방에서 최대절연강도가 나타났다.

참 고 문 헌

- 1) C.H.Park and H.Okajima, IEEE, Vol.EI-18, No.4 pp380-389, 1983
- 2) K. Yahaki, IEEE, Vol.EI-15, No.3, pp241-250, 1980
- 3) C.H.Park, D.J.Kwak, M.Hara, IEEE, Vol.EI-20, No.3, pp567-573, 1985
- 4) F.Billmer, JR, "Text Book of Polymer Science" Willy-interscience 3rd Edition, Chap.10, 1984
- 5) R.Coelho, "Physics of Dielectric" Elsevier, part2, 1979
- 6) Y.T.Jang, D.Parikh, J. J of Applied Phys., Vol.17, No.10, pp1719-1725, 1978

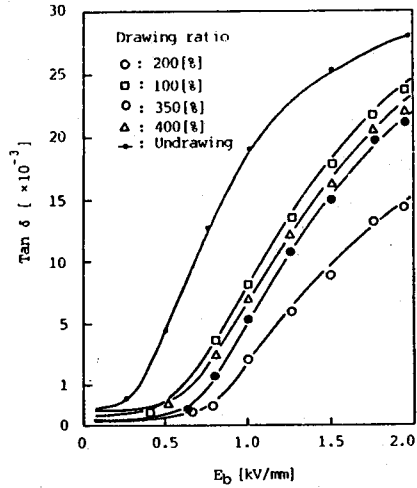


그림 2. $\tan \delta$ - 인가전계특성

Fig.2. $\tan \delta$ - applied field strength characteristics.

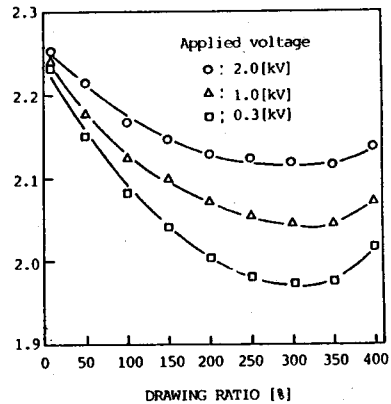


그림 3. ϵ - 연신비특성

Fig.3. ϵ - drawing ratio characteristics.

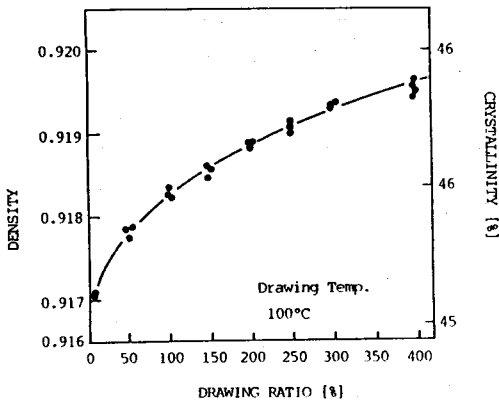


그림 1. 연신비에 따른 밀도 및 결정화도변화특성

Fig. 1. Density and crystallinity characteristics vs. drawing ratio.

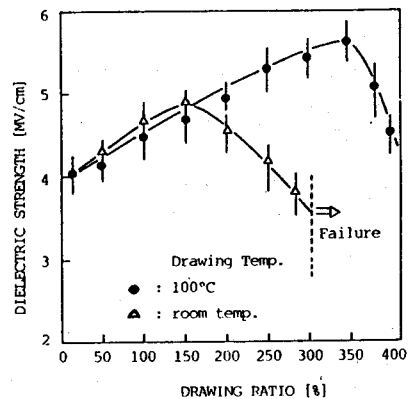


그림 4. 연신비에 따른 절연강도특성

Fig. 4. Dielectric strength characteristics vs. drawing ratio.