

도데실알콜이 첨가된 LDPE의 전기적 특성

Electrical Properties of the LDPE mixed with Dodecyl Alcohol

김 상 준* 이 창 희 김 정 수

S. J. KIM* C. H. LEE J. S. KIM

홍익대학교 대학원
전기공학과

Hong Ik Univ.
Dept. of Eltc. Eng.

Abstract

This paper presents the results on experiments of relative dielectric constant dielectric loss, conductivity change and breakdown voltage of the L.D.P.E. mixed with Dodecyl Alcohol. The frequency range is 0.1 - 20 MHz and temperature, 20 - 80 °C.

Dielectric properties were similar to those of nonpolar polymers. Until 60 °C, the conductivity value of compound was decreased with temperature increasment. And, its breakdown voltage was measured higher, about 3-4KV, than that of the pure L.D.P.E.. Also the amount of remnants of DA in the compounds were considered.

I. 서 론

1981년 E. J. McMahon 은 트리아를 억제하는 방법으로 저 밀도폴리에틸렌(이하 LDPE)에 도데실알콜($C_{12}H_{25}OH$, 이하 DA) 을 첨가한 케이블을 제작, 트리아의 진전양상을 관측한 결과 상온에서 억제효과가 있음을 발표하였으며¹⁾, 본 연구실에서도 위의 혼합체를 제작하여 온도변화에 따른 트리아 양상을 관측한 결과 60°C 까지는 억제효과가 있음을 보고하였다²⁾.

본 연구는 위의 연구결과와 같이 트리아 억제기능이 있는 혼합체의 전기적 특성을 알아보기 위하여 LDPE에 DA 가 첨가된 시편을 제작하여 유전특성, 도전을 그리고 절연파

괴전압을 측정하였다. 또한 상온(30°C) 이상에서 액체상태로 되는 DA 의 성질을 고려하여 시편제작 후 일정기간 동안 내부에 혼합되어 있는 첨가량의 변화를 관측하였다.

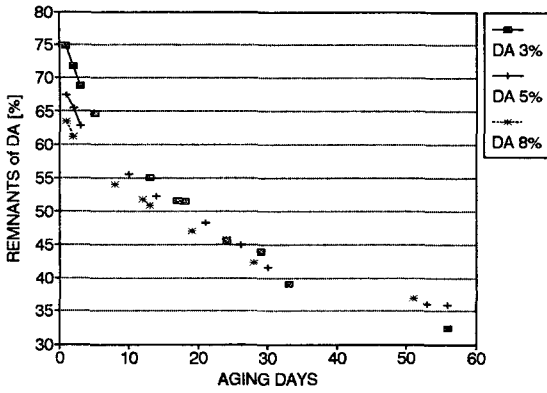
II. 실험

본 연구에 사용된 시료는 한양화학제 LDPE(밀도 0.92g/cm³)에 일본 순정화학주식회사제의 도데실알콜을 각각 1%, 3%, 5%, 8%씩 혼합하였다. 시료의 제작방법은 digital balance (정밀도 $10^{-4}g$)를 이용하여 LDPE의 중량을 정확히 측정후 위에 제시한 비율로 도데실알콜과 혼합하였다. 이 혼합물을 스테인레스 판틀위에 넣은후 heating press를 사용하여 150°C로 1시간 가열, 압착시킨후, 30분간 공랭하였다. 이렇게 제작된 시편으로 DA의 경시변화, 유전특성, 도전을, 절연파괴전압을 측정하였다.

III. 결과 및 검토

가) DA의 경시변화량

그림(1)은 DA가 첨가된 혼합체의 경시변화량을 도시한 것이다. DA는 상온이상(30°C)에서 액체상태로 존재하기 때문에 시편을 제작한 후 표면으로 스며나오는 양을 56일간 측정된 결과 약 30% 정도가 잔류함을 관측하였고 그래프의 기울기로부터 그 이상의 시간에는 잔류량이 거의 포화하는 것으로 생각할 수 있다.



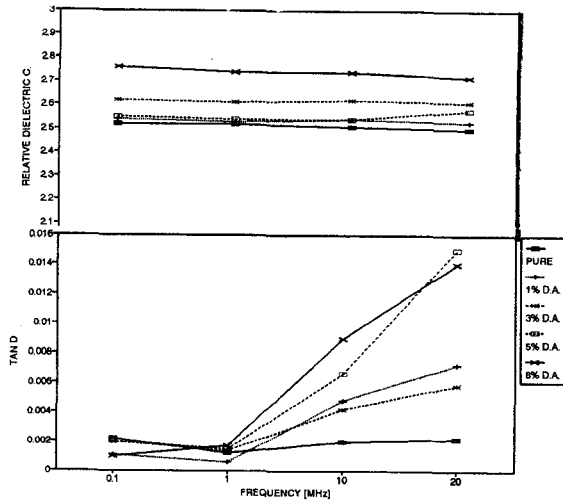
그림(1) DA의 잔류량

나) 혼합체의 유전특성

i) 주파수특성

그림(2)는 혼합체의 주파수 변화에 따른 비유전율 및 유전정접의 변화를 나타낸 것이다. 비유전율값은 대체로 측정주파수대에서는 일정하였으나, 유전정접값은 DA가 첨가된 시편이 순수시편보다 1MHz 이상에서는 크게 증가하는 양상을 관측하였다.

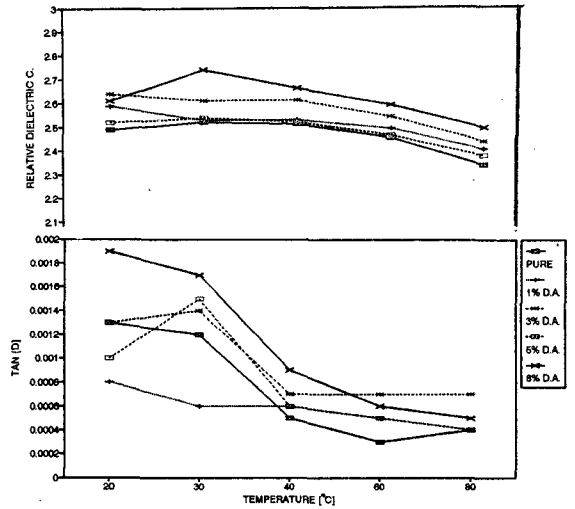
본 측정주파수대에서는 계면분극과 쌍극자분극이 발생하는 영역임을 고려하면³⁾ 1MHz 이상의 주파수영역에서의 유전정접의 급격한 증가를 쌍극자분극에 의한 영향으로 생각할 수 있으며, DA의 -OH기의 영향으로 첨가량이 많을수록 증가의 폭은 더욱 커졌다.



그림(2) 유전특성의 주파수의존성

ii) 온도특성

그림(3)은 혼합체의 온도변화에 따른 유전특성을 나타낸 것이다. 영구쌍극자가 있는 경우의 비유전율 및 유전정접은



그림(3) 유전특성의 온도의존성

$$\epsilon_r \approx 1 + \frac{N\alpha}{\epsilon_0} + \frac{N\alpha\gamma}{1 - \frac{\omega\tau_0}{\epsilon_0}}$$

$$\tan \delta \approx \frac{N\alpha d}{\epsilon_0} \cdot \frac{\omega\tau_0}{1 + \omega^2\tau_0^2} + \frac{\sigma}{\omega\epsilon_0\epsilon_r}$$

$$\left(1 - \frac{N\alpha\gamma}{\epsilon_0}\right) \epsilon_{r0}$$

으로 나타낼 수 있고⁴⁾ 식 (1)에서 γ 와 α 값을 일정하다고 하면 ϵ_r 은

$$\epsilon_r \propto N$$

의 관계가 성립하며

$$N \propto \rho \propto 1/T$$

의 관계가 성립하므로 온도 T가 증가함에 따라 밀도 ρ 가 작아지고 N의 값도 작아져 ϵ_r 값의 감소를 야기하게 된다. 이는 그림(3)의 결과로 잘 설명된다.

다음, 비유전손실률을 검토하기로 한다.

쌍극자분극을 α_d 는 DEBYE의 이론에 의하면,

$$\alpha_d = \frac{\mu^2}{3kT}$$

로 표현된다. 그러므로 식(2)로부터 α_d 의 값은 온도 T에 반비례로 감소하여 온도의 상승과 더불어 분극완화성분이 감소됨을 알 수 있다. 또 고분자재료는 일반적으로 온도가 상승함에 따라 그 전도도가 증가하므로⁴⁾⁵⁾⁶⁾ 고온측

에서는 전도전류성분의 증가로 인하여 비유전손실률값이 상승하게 된다. 순수시편의 경우, 60-80°C에서는 약간의 증가가 관측되었으나, 혼합체의 경우는 약간 감소하는 특성을 나타내었다. 이에 대한 원인을 정확히 고찰하기는 어렵지만, 첨가제의 영향으로 생각되며, 측정결과 DA의 $\tan \delta$ 는 온도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 따라서 혼합체의 전체적인 유전특성은 무극성유전체의 그것과 비슷한 경향이라 할 수 있으며, 비교적 높은 $\tan \delta$ 값으로 미루어 도전율이 순수 LDPE보다 높을 것으로 생각된다. 이에 대한 검토는 다음의 (다)항에서 논하였다.

다) 혼합체의 도전율

그림(4)는 온도변화에 따른 혼합체의 전류를 측정하여 도전율값으로 환산하여 $1/T$ 의 함수로 플롯한 것이다.

$$\sigma = \frac{I \cdot d}{V \cdot S} \quad \text{----- (6)}$$

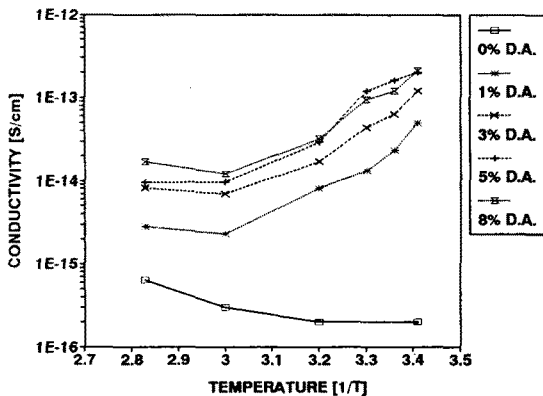
그림(4)에서 알 수 있는 바와 같이 혼합체의 도전율은 순수 LDPE에 비해 10^2 정도 높게 측정되었고, 60°C까지는 감소하는 경향을 보이고 있다. 이러한 특성이 DA의 영향이라 생각하여 DA의 온도변화에 따른 전류의 변화를 측정된 것이 그림(5)이다. 온도의 증가에 대해 전류 I가 30°C를 전후해서 감소하는 경향을 보이고 있다. 이때, 도전율은 30°C에서 약 3×10^{-8} [S/cm]이었으며, 문헌에 알려진 값(1.7×10^{-9} S/cm)과 거의 비슷하다⁷⁾.

혼합체의 이러한 양(+)온도계수는 반도체의 전기적 특성과 비슷한 경향이며 이때의 온도범위(20-60°C)에서는 캐리어의 밀도가 일정한 구간이므로

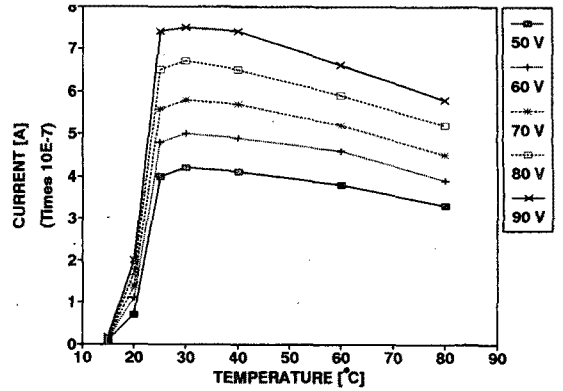
$$\sigma = en\mu \quad \text{----- (7)}$$

에서, σ 는 이동도 μ 의 영향을 받게 된다. 또한 NERNST-EINSTEIN 식에 따르면

$$\mu = \frac{eD}{kT} \quad \text{----- (8)}$$



그림(4) 도전율의 온도의존성



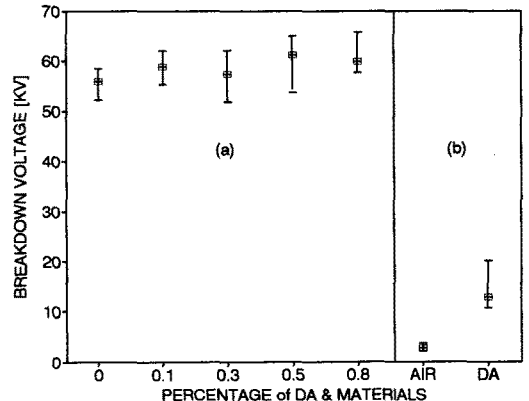
그림(5) 온도변화에 따른 DA의 전류

가 되어 이동도는 온도 T에 반비례하므로 σ 는 온도 T가 증가함에 따라 감소한다고 할 수 있으며 본 연구에서는 이러한 감소구간이 60°C가 되는 것으로 사료된다. 그리고 60°C이상의 온도영역에서는 온도의 상승과 더불어 thermal excitation이 활발해져 캐리어의 밀도 n이 증가하여 σ 가 증가하는 것으로 생각할 수 있다⁸⁾.

라) 혼합체의 절연파괴전압

그림(6)의 (a)는 혼합체의 절연파괴전압을 측정된 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 DA가 첨가된 시편이 순수 LDPE시편보다 약 3-5KV정도 높게 측정되었다. 일반적으로 절연유와 고체유전체가 복합되어 있는 경우 그 절연내력이 상승하고, 특히 충격전압에 의한 파괴전압을 상승시키는 효과가 있으므로⁹⁾ 이해가 가능하리라 생각된다. 좀더 구체적으로 해석하기 위해 다음 사항을 가정해 보았다.

재료속에 내재되어 있는 보이드에 공기가 들어가 있을 경우, 기체의 절연내력은 주위의 고분자재료의 그것보다 작을 것이고, 따라서 보이드가 존재하게 되면 재료의 절연내력은 저하되어 수명이 짧아지게 된다. 이와같이 보이드 내에 공기가 들어있는 경우를 생각하여, 공기와 DA를 전극 간격 1mm 두고 실측한 결과를 그림(6)의 (b)에 나타내었다 (승압속도 0.5KV/s).



그림(6) 절연파괴전압

실험결과 DA가 공기보다도 약 5배정도 높은 파괴전압값이 관측되었다. 따라서 DA가 첨가된 시편은 순수시편보다 높은 절연내력을 가지고 있음이 입증된다.

IV. 결 론

저밀도폴리에틸렌에 도데실알콜을 첨가하여 제작한 시편의 전기적인 특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

① 측정주파수대에서의 혼합체의 유전정점은 주파수가 증가함에 따라 순수시편에 비하여 높은 값을 나타내었으며, 분극기구는 쌍극자분극으로 생각된다.

② 측정온도영역에서의 혼합체의 도전율은 중온(20-60°C) 영역에서 반도체의 특성을 나타내었으며, 그 값은 비교적 양호한 절연성(약 $10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$)이었다.

③ 혼합체의 절연파괴전압은 순수시편보다 3-5KV높은 값을 나타내었다.

④ 혼합체내에 잔류하는 DA의 양은 초기 첨가량의 30% 부근에서 거의 포화함을 관측하였다.

이상의 결과로 부터 혼합체의 전기적인 특성은 순수LDPE에 비해 다소 개선되는 것으로 사료되며 전기절연 향상을 위한 재료개발에 하나의 정보를 제공하는 것에 본 연구의 성과를 들 수 있다.

<참 고 문 헌>

- 1) E.J. McMahon : "A Tree Growth Inhibiting Insulation for Power Cable", IEEE, EI-16, pp304-318, 1981
- 2) 이 창희 : "도데실알콜이 첨가된 저밀도 폴리에틸렌에서 온도변화에 따른 Treeing에 관한 연구", 홍대대학원석사학위논문, 1989
- 3) 김 봉흡 : "전기·전자재료", 문운당, p18, 1990
- 4) 김 정수, 강 도열, 서 정하 : " γ -선 가교폴리에틸렌에 대한 전기적 특성의 온도의존성", 홍대는총, Vol. 8, pp436-438, 1976
- 5) 青笹正夫 외 : "ポリエチレン電氣傳導における溫度特性と相關", 日本電氣學會誌, Vol. 91, No. 4, pp163-172, 1971
- 6) 依田正之 외 : "ポリエチレンの電氣傳導と1次轉移", 日本電氣學會論文誌 Vol. 94-A, No. 8, pp17-24, 1974
- 7) J.D. Hoffman et al : "J. Am. Chem. Soc.", Vol. 71, 436, 1949
- 8) 성 영권 : "기초물성전자공학", 고대출판부, p132, 1980
- 9) 강 도열, 서 국철 : "신편 고전압 공학", 동명사, p104, 1985