

재료특성에 따른 LDPE의 전하형성

한재홍*, 구중희, 이경원, 서광석
고려대학교 재료공학과

SPACE CHARGE IN LDPE OF DIFFERENT MOLECULAR CHARACTERISTICS

Jae H. Han*, Jung H. Koo, Kyung Won Lee and Kwang S. Suh
Department of Materials Science
Korea University, Seoul, Korea

Abstract

Effects of molecular characteristics such as melt index and shapes of molecular weight distribution on the charge formation in LDPE have been investigated. Both homocharge and heterocharge were observed in LDPE depending on the value of melt index. It was found that the LDPE having intermediate melt indices shows heterocharge while the LDPE having small and high melt indices shows homocharge. The shapes of molecular weight distributions were also found to affect the space charge in LDPE. These were explained by the role of short chains having low molecular weight in LDPE.

1. 서 론

폴리에틸렌은 대표적인 전기절연재료로 공간전하를 측정하는데 있어 가장 널리 쓰이는 고분자이기도 하다. XLPE의 경우 전하특성이 여러 연구진에 의해 비교적 일관되게 이중전하가 형성된다고 보고되고 있고 그 원인으로는 가교부산물에 의한 것으로 밝혀져 있다 [1, 2]. 반면 LDPE의 경우 항상 그 결과가 일관되게 나오지 않고 어떤 경우엔 동종전하가, 또 어떤 경우엔 이중전하가 형성된다고 보고되고 있다 [3-5]. 이렇게 일치되지 않는 결과는 시편의 물질특성으로 부터 비롯된 것이라 볼 수 있다. LDPE의 공간전하형성에 영향을 끼치는 요소는 크게 물질과 연관된 것과 성형과정과 연관된 것으로 나누어 생각할 수 있는데 본 연구진에서는 위의 요소 중 저분자량성분의 짧은 사슬과 시편준비과정에서 발생할 수 있는 화학적 변화가 LDPE의 전하형성에 영향을 끼친다는 것을 밝혀냈다 [6].

본 연구에서는 LDPE의 이중전하의 원인을 좀 더 명확히 밝히기 위해 용융지수 (Melt index: MI)와 분자량분포형태같은 물질특성이 LDPE의 전하형성에 미치는 영향을 알아보았다.

2. 실험방법

본 실험에서 사용한 시료는 0.25에서 45 g/10 min의 범위의 서로 다른 용융지수 (Melt index: MI)를 갖는 LDPE를 사용하였으며 산화방지제는 포함되지 않

았다. 또한 분자량분포가 전하형성에 미치는 영향을 알아보기 위해 밀도는 0.920 g/cm³이고 용융지수는 2.0 g/10 min로 비슷하나 분자량분포가 다른 세가지의 LDPE를 선택하여 실험하였다. 이 시료는 편의상 LDPE A, LDPE B, LDPE C로 부르기로 한다.

공간전하측정을 위한 시편은 PET 필름을 사용하여 120 °C에서 10 분간 압축성형방법으로 1 mm 두께의 판상으로 제작하였고 반도체성 전극은 180 °C에서 20 분간 압축성형하여 약 180 μm의 두께로 만든 뒤 가교부산물의 영향을 없애기 위해 80 °C의 진공오븐에서 100 시간 진공처리하였다.

전하분포는 pulsed electroacoustic (PEA) 방법으로 측정하였으며 직류전압을 40 kV까지 5 kV간격으로 30분간 가하고 전압을 제거한 뒤 전하분포를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 용융지수의 영향

용융지수는 고분자의 유동성을 나타내는 척도로서 용융지수가 크면 LDPE에 저분자량성분의 농도가 높다는 것을 의미하며 따라서 용융지수는 저분자량성분의 농도를 알 수 있는 척도가 될 수 있다.

그림 1은 용융지수가 서로 다른 LDPE의 전하분포를 나타낸 것이고 그림 2와 3은 전기장과 용융지수의 변화에 따른 음전극쪽의 전하량을 도시한 것이다. LDPE의 전하특성은 용융지수에 의존하여 용융지수가 0.25, 24, 45 g/min인 경우 동종전하가 형성되었고 용융지수가 2와 6 g/10 min인 경우 동종전하가 형성되었다. 이는 특정한 범위의 용융지수에서만 이중전하를 나타냄을 알 수 있다.

3.2 분자량분포형태

그림 4에 분자량분포의 형태가 다른 LDPE의 전하분포를 나타내었고 그림 5에 이들의 분자량분포를 나타내었다. 그림에서 보듯이 밀도와 분자량분포가 비슷하다하더라도 분자량분포의 형태가 다르면 전하분포가 다를 수 있다.

전하형성에 분자량분포형태가 미치는 영향을 알기 위해 LDPE A와 LDPE B를 다른 온도의 자일렌으로 추출한 뒤 전하분포를 측정하였다. 그림 6은 두 시편의 GPC 곡선이다. LDPE A는 추출온도가 70 °C까지 증가

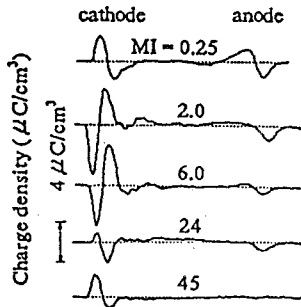


Figure 1. Charge distributions at 40 kV of LDPE having different MI.

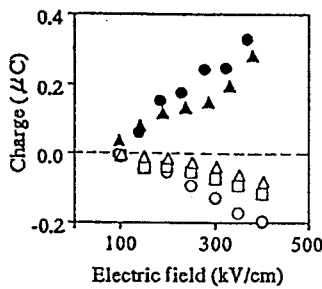


Figure 2. Field dependence of charge near the cathode; MI=0.25 (○), 2.0 (●), 6.0 (▲), 24 (□), 45 (△).

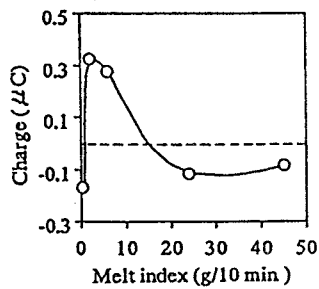


Figure 3. MI dependence of charge near the cathode.

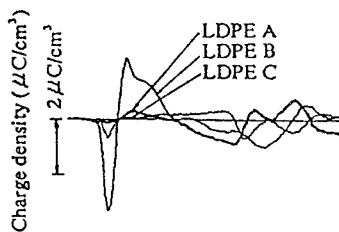


Figure 4. Charge distributions in LDPE having different MWD shape.

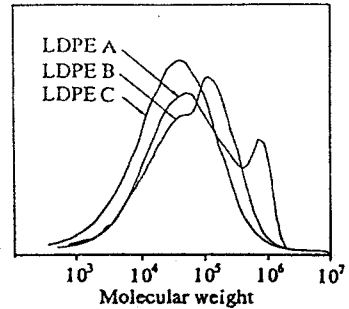


Figure 5. GPC curves of three LDPE's having different MWD.

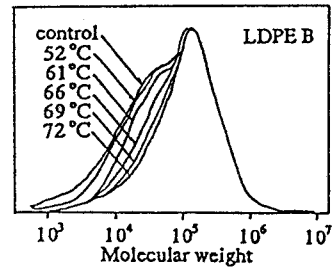
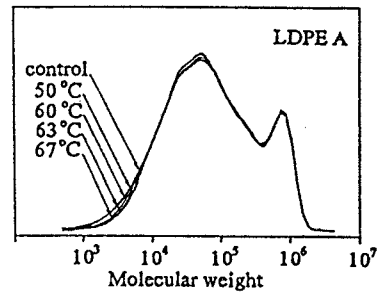


Figure 6. GPC curves of xylene-extracted LDPE A and B.

하여도 분포가 비교적 변하지 않는 반면 LDPE B는 추출 온도의 증가에 따라 저분자량성분이 연속적으로 제거됨을 볼 수 있다. 이는 LDPE A가 LDPE B보다 용매저항성이 더 높음을 의미한다. 그림 7은 추출한 두 시편을 40 kV에서 전하분포를 측정된 것이고 그림 8은 추출온도에 따른 음전극쪽의 전하량을 나타낸 것이다. 그림에서 보면 LDPE A는 추출온도에 따라 이종전하량이 별 차이를 보이지 않는 반면 LDPE B는 추출온도가 증가함에 따라 저분자량성분이 제거될수록 이종전하량이 점차 감소하여 72 °C에서는 아주 작은 동종전하의 피크를 보여주고 있다. 그림 9는 성형온도에 따른 전하량을 나타낸 것이다. LDPE A는 모든 온도에서 LDPE B에 비해 매우 작은 전하량을 갖는 것을 볼 수 있다.

3.3 고찰

용융지수나 분자량분포같은 물질특성에 따라 전하분포가 다름을 알 수 있었다. 첨가제가 들어있지 않은 LDPE가 용융지수에 따라 전하특성이 바뀌음을 알 수 있었고 또한 분자량분포형태에 따라 용매저항성과 성형온도에 따른 전하량의 변화가 다름을 관찰할 수 있었다.

용융지수가 다른 LDPE의 전하특성의 차이는

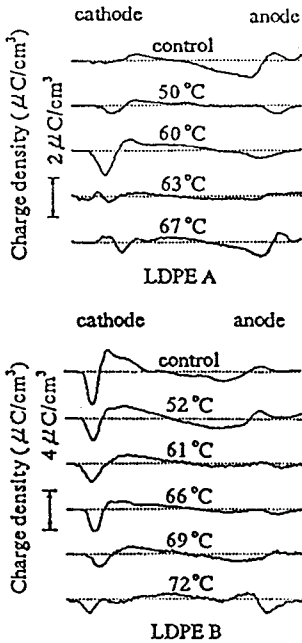


Figure 7. Charge distributions at 40 kV of LDPE A and B.

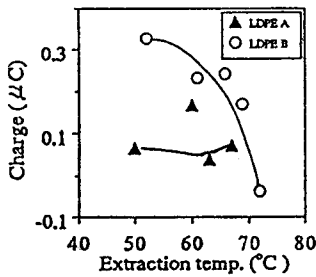


Figure 8. Extraction temperature dependence of LDPE A and B.

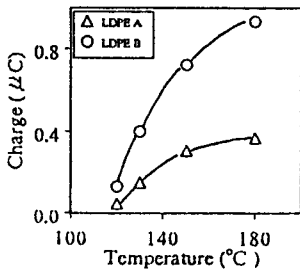


Figure 9. Molding temperature dependence of LDPE A and B.

LDPE내의 짧은 사슬의 역할로 설명할 수 있다. 용융지수가 높다는 것은 저분자량성분의 짧은 사슬이 많다는 것을 의미하고 용융지수가 낮다는 것은 분자량이 더 커 사슬의 이동이 어렵다는 말이 된다. 따라서 용융지수가 낮은 경우에는 폴리에틸렌의 짧은 사슬의 이동이 용이하지 않으므로 전하의 주입이 더 커 동중전하를 나타낼 것이라고 생각할 수 있다. 용융지수가 매우 큰 경우 짧은 사슬의 이동이 쉬워 이중전하의 형성이 쉽게 되나 전극과 시편사이의 계면에서 이중전하는 국부전기장을 증가시키고 이로 인해 전하주입을 증가시키므로 해서 전체적으로는 높은 전기장에서 동중전하를 형성하게 된다고 생각할 수 있다.

분자량분포형태에 대한 영향 역시 LDPE내의 짧은 사슬의 역할로 설명할 수 있는데 저분자량성분이 많은 경우 용매지함성이 나쁘고 집착력이 더 있는 등 물성의 차이가 있을 것이다. 따라서 LDPE B의 전하분포는 저분자량성분이 제거됨에 따라 LDPE A에 비해 더 영향을 받을 것이다. 높은 성형온도에서 이중전하의 크기가 증가하는 것은 본 연구진에 의해 LDPE와 PET 필름사이의 상호작용에 의한 것으로 밝혀졌는데 LDPE의 저분자량성분이 많은 경우 이러한 PE와 PET 필름사이의 상호작용은 커지리라 생각된다.

4. 결론

용융지수에 따라 LDPE의 전하특성이 다르게 나타났는데 일정범위의 LDPE에서는 이중전하가, 그 밖의 범위에서는 동중전하가 형성되었다. 이는 저분자량성분의 짧은 사슬에 의한 것으로 밝혀졌다. 분자량분포형태가 다른 LDPE의 경우, 전하분포특성 및 성형온도에 따른 전하량의 변화와 용매에 대한 지함성이 다르게 나타났는데 이는 저분자량성분의 짧은 사슬의 농도차이로 인해 생기는 것으로 밝혀졌다.

5. 참고문헌

- [1] Y. Li et al.: *Proc. 3rd ICPADM*, Tokyo, Japan, 1210 (1991).
- [2] K. S. Suh, et al.: *Proc. 4th ICSD*, Sestri Levante, Italy, 418 (1992).
- [3] S. Mahdavi et al.: *IEEE Trans. Electr. Insul.*, EI-26, 57 (1991).
- [4] Y. Suzuoki, et al.: *IEEE Trans. Electr. Insul.*, EI-26, 1073 (1991).
- [5] Y. Li, et al.: *J. Appl. Phys.*, 74, 2725 (1993).
- [6] K. S. Suh, et al.: *Proc. 4th ICPADM*, Brisbane, Australia, (1994). To be reported.
See also *Proc. 26th SEIM*, Osaka, Japan, (1994). To be reported.