

XLPE/EnBA 블렌드의 전기 및 물리적 성질

11-12-2

Electrical and Physical Properties of XLPE/EnBA Blends

서광석*, 오우정**, 이승형***

(Kwang S. Suh, Woo J. Oh, Seung. H. Lee)

Abstract

Electrical properties such as space charge accumulation and water tree length and physical properties such as tensile strength, elongation and degree of crosslinking of crosslinked polyethylene (XLPE)/ethylene n-butyl acrylate copolymer (EnBA) blends were investigated. It was found that electrical properties such as water tree length grown at a specific condition and AC breakdown strength are improved by blending the XLPE with EnBA. The EnBA having higher nBA content showed the better electrical properties in XLPE/EnBA blends. A further improvement of these properties was achieved when a small amount of crosslinking coagent was used in the preparation of XLPE/EnBA blends.

Key words(중요용어): XLPE, XLPE/EnBA blends, Space charge accumulation, Water treeing, AC breakdown strength.

1. 서 론

대표적인 절연재료중의 하나인 가교폴리에틸렌(crosslinked polyethylene; XLPE)은 절연성능이 우수하면서 가공이 비교적 용이하기 때문에 전력케이블의 절연용으로 많이 사용되고 있다. 이 XLPE로 만들어진 지중 전력케이블은 물이 존재하고 높은 온도 하에 놓여져서 운전하게 되므로, 절연체인 XLPE는 수분과 전압에 의해서 발생하는 수트리 현상이라고 하는 열화현상이 발생하는데, 이는 지중 전력케이블의 대표적인 열화요인으로 작용한다. 수

* : 고려대학교 재료공학과

(서울시 성북구 안암동 5-1, Fax: 929-4408)

** : 고려대학교 재료공학과

*** : 한화중합화학 종합연구소

1998년 8월 31일 접수, 1998년 11월 18일 심사완료

트리 현상이란 절연층 내에 미세크랙이 발생하여 나무 모양으로 성장하는 현상을 말하는데, 케이블에 일단 수트리가 발생하면 케이블의 절연파괴강도가 낮아지고 이에 따라서 절연수명도 급격하게 감소하는 것으로 알려져 있다¹⁾.

수트리 억제방법은 케이블의 구조를 개선하는 방법과 절연체인 XLPE를 수트리에 강하도록 개질하는 방법으로 나뉘어진다. 개질방법은 가장 간단한 방법인 전압안정제, 내수트리 첨가제 등을 혼합하는 방법과 두 가지 이상의 고분자를 블렌딩하는 방법, 적절한 단량체를 폴리에틸렌 사슬에 그래프트시키거나 중합공정을 개조하여 다른 고분자와의 공중합을 통한 새로운 재료의 개발에 이르기까지 여러 방법이 이용되고 있다.

첨가제의 혼합과 고분자 블렌딩 방법은 다른 방법에 의한 절연체의 개질보다는 용이하기 때문에 국외의 배전급 케이블에서는 많은 부분에서 사용되

기도 한다²⁻⁷⁾. 특히 아이오노머 (ionomer)나 에틸렌 비닐아세테이트 공중합물 (ethylene vinyl- acetate copolymer; EVA) 또는 에틸렌에틸아크릴레이트 공중합물 (ethylene ethyl-acrylate copolymer; EEA) 을 폴리에틸렌과 블렌드하면 절연성의 개선이 보고 되기도 하였다. 또한 공중합법은 할로젠 화합물을 공중합시키거나 전자트랩으로 작용할 수 있는 기능을 갖는 단량체를 그래프트시키는 방법 등이 시도 되었다⁸⁻¹¹⁾. 이들 방법들은 모두 장단점이 있는데, 첨가제 방법의 경우 사용된 첨가제가 시간이 지남에 따라 휘발되어 소멸되는 단점이 있고 공중합법의 경우 반응기를 수정해야 하거나 그래프트 공중합법의 경우 미반응 단량체의 처리문제 등 아직도 많은 문제점들이 있다. 이에 반하여 블렌딩 방법은 혼합된 성분간의 상용성 불일치에서 발생하는 계면현상 등의 문제는 있지만 아직까지 가장 널리 사용되는 방법이다.

본 연구팀에서는 수트리 억제능이 있는 새로운 폴리에틸렌 블렌드를 개발하기 위한 노력의 일환으로 PE/EnBA 블렌드를 제조한 바 있으며 이 블렌드의 전기적 성질을 비롯한 각종 물리적 특성에 대하여 발표한 바 있다¹²⁾. 기존의 연구결과에 따르면, PE에 EnBA를 블렌드할 경우 연신율, 인장강도 및 환경응력크랙저항성 (environmental stress cracking resistance; ESCR) 등의 기계적 성질은 증가하지만 수트리 특성 등의 전기적 성질은 향상되지 않는 것으로 밝혀졌다. 그러나 이 블렌드를 가교시키면 전기적 및 기계적 특성의 향상을 기대할 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 XLPE의 전기적 성질의 향상에 관한 연구로서 먼저 XLPE/EnBA 블렌드의 전

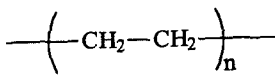
기적 특성을 측정하였다. 측정 결과 최적의 전기적 성질을 보이는 블렌드를 선정하여 폴리에틸렌의 종류 및 가교조제 (crosslinking coagent)의 일종인 trimethylolpropanetriacrylate (TMPTA)의 영향을 평가하였다.

2. 실험

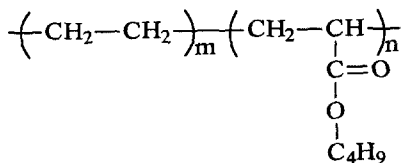
본 연구에서 사용한 PE는 국내 석유화학회사에서 생산되어 전력케이블의 주절연 재료로 사용되는 수지로서 밀도는 0.920 g/cm³이고 용융지수는 2.0 g/10 min이다. EnBA는 미국 Quantum Chemical Inc.에서 생산된 것으로 nBA의 함량이 5, 19, 20 wt%이며 각 EnBA의 용융지수는 3.0, 0.3, 6.0 g/10 min인데, 이들 시료를 각각 EnBA5, EnBA19, EnBA20으로 명명하였다. 본 연구에서 사용한 모체수지와 EnBA의 구조를 그림 1에 나타내었다.

세 종류의 EnBA를 사용하여 블렌드 내의 nBA 함량이 각각 1, 2, 4, 6 wt%가 되도록 이축압출기 (twin screw extruder)를 이용하여 블렌딩하였는데, 압출기 배럴의 온도는 150-190 °C로 조절하였다. 가교시료를 만들기 위하여 모체수지 및 블렌드에 2.0 phr의 dicumyl peroxide (DCP)를 첨가하였으며 블렌드 제조시 0.4 phr의 산화방지제를 첨가하였다. 가교조제의 영향을 평가하기 위하여 본 연구에서는 Trimethylolpropane triacrylate (TMPTA)를 사용하였는데, 이 가교조제를 선택한 이유는 XLPE에 대한 실험을 통하여 가장 효과적인 가교조제로 밝혀졌기 때문이다.

전하축적 특성의 측정은 전기음향펄스 방법 (Pulsed electroacoustic method)을 사용하였으며, 측정원리 및 측정방법의 상세한 사항은 기존에 보고된 내용과 같다^{13,14)}. 지름 9 cm, 두께 0.7 mm의 디스크 형태로 제작한 시편의 한쪽 전극에 10 kV/mm 부터 40 kV/mm까지의 직류 전기장을 시편에 5 kV/mm 간격으로 30 분동안 단계적으로 증가시키면서 인가하였다. 전하분포 측정은 폭이 10 ns이고, 크기가 2 kV인 전기펄스를 사용하였다. 모든 측정은 전압을 30 분동안 가한 후 단락시킨 상태에서 전하분포를 측정하였다. 따라서 본 결과는 잔류전하의 분포를 의미한다. 양전극쪽에 형성된 전하는 시료 내를 통과하는 동안 감쇄가 심하여 왜곡될 가능성이 매우 높으므로 시료 내에 축적된 전하량의 계산에는 음전극쪽 전하량을 사용하였다.



Polyethylene



Ethylene n-Butyl Acrylate Copolymer

그림 1. 폴리에틸렌과 노말부틸아크릴레이트 공중합체의 화학구조

Fig. 1. Chemical structures of PE and EnBA

수트리 시험은 기존에 보고되었던 방법과 동일하다³⁾. 곡률반경이 5 μm 인 바늘을 사용하여 제작한 시료를 0.1 M의 AgNO_3 용액 내에서 10 kV의 전압을 96시간 가한 후 8개의 바늘에서 생성된 트리 길이의 평균값을 수트리 길이로 하였다. 이 때 모든 시료의 수트리는 전계방향으로 성장하였으므로 최대 길이를 측정하였다.

절연파괴강도의 측정은 앞에서의 전하축적 특성 시편 제작과 같은 방법을 사용하여 Hot press에서 두께가 50-70 μm 이고 원형인 필름 형태로 시편을 제작하였다. 이와 같이 제작한 시편을 지름이 6.5 mm이고 끝 부분이 블록한 상부 전극과 판상의 하부 전극 사이에 수평으로 위치시킨 후 절연유 내에서 초당 1 kV의 전압상승속도로 전압을 인가하여 파괴가 일어난 전압을 절연파괴강도 값으로 취하였다. 그리고 각각의 시료 당 8-10개의 시편을 시험하여 최대 및 최소값을 제외한 나머지 값의 평균값을 취하였다.

기계적인 물성을 측정하기 위한 인장 시험은 상온에서 Instron 6022를 사용하여 200 mm/min의 속도로 인장강도와 연신율을 측정하였다. 이때 시편의 gauge length는 200 mm였으며 7개 시편을 측정하여 최대값과 최소값을 제외한 나머지의 평균값을 취하였다.

모든 시험은 상온에서 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 모체수지의 전하축적 특성

모체수지인 PE와 3종의 EnBA의 40 kV/mm에서의 전하분포 특성이 그림 2에 나와 있다. 기준시료인 PE의 전하분포는 가해 준 전압의 극성과 반대 극성을 갖는 이중전하, 즉 양전극쪽에는 음전하가 음전극쪽에는 양전하가 축적되는 것으로 나타났다.

그리고 양전극 부근에 많은 양의 음전하가 축적된 것이 관찰되었다. 반면에 EnBA는 nBA의 함량에 따라 다른 전하분포를 보인다. 그림에 보인 바와 같이, EnBA5 시료의 경우, 음전극 쪽에는 양전하가 그리고 양전극쪽에는 음전하가 축적되며, 이때 음전하의 크기가 양전하의 크기보다 큰 것으로 관찰되었다. EnBA19의 경우에는 시료 내부의 넓은 부분에 양전하가 축적되는 결과를 얻었다. 반면에 EnBA20 시료는 시료에 축적되는 전하의 극성이 전극의 극성과 동일한, 즉 동종전하의 형성을 보이는

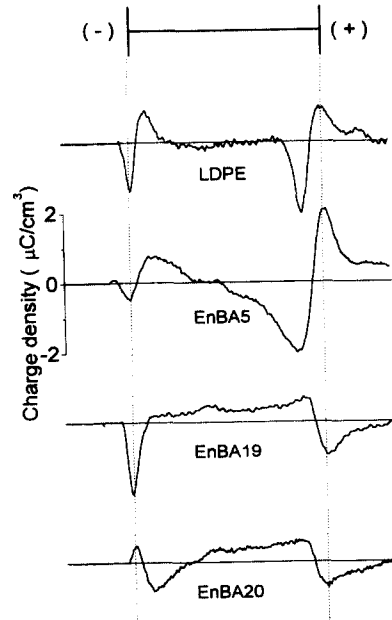


그림 2. PE와 EnBA에 40 kV/mm를 가한 후의 공간전하 분포

Fig. 2. Spatial charge distribution of PE and EnBAs after field (40 kV/mm) removal

데, 이때 음전하보다 양전하가 더 넓은 부위에 축적되는 것으로 관찰되었다.

PE의 경우, 동종전하 및 이종전하가 모두 관찰되는 것으로 보고되고 있다¹⁵⁾. 동종전하의 경우 전극으로부터 전하주입에 의해서 형성되고 이종전하의 경우 시료 내에 있는 불순물 또는 극성기의 배향 등에 의해서 형성되는데, 특히 저분자량의 PE 사슬들도 이종전하를 형성시키는 요인인 것으로 보고된 바 있다¹⁵⁾. EnBA의 경우, nBA는 쌍극자가 있는 반면 전하트랩 역할을 하는 것으로 알려져 있는 카보닐이 있다. 낮은 함량에서는 (EnBA5) 시료 내에 있는 불순물 또는 극성기의 배향에 의한 이종전하의 형성이 우세하나, EnBA19와 EnBA20 처럼 nBA의 함량이 높으면 카보닐의 함량이 높아 전하트랩이 증가하고 또한 계면전계의 상승으로 인한 전하주입이 증가하여 이종전하가 감소하여 결국 동종전하를 형성하는 것으로 생각된다. nBA 함량이 높은 EnBA에서 주로 양전하의 축적이 관찰되는 것으로 보아 EnBA는 EVA와 마찬가지로 정공주입이 전자주입보다 우세한 것으로 생각된다¹⁶⁾.

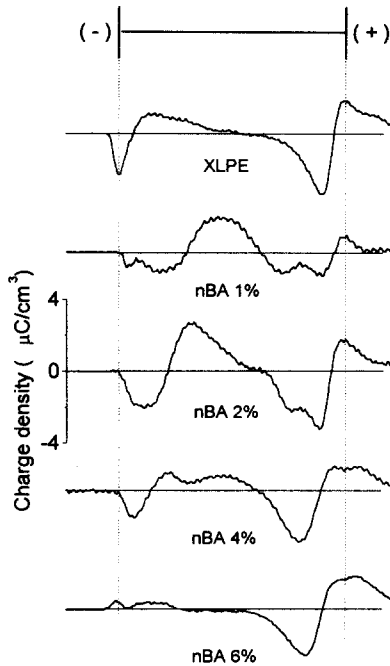


그림 5. XLPE/EnBA20 블렌드에 40 kV/mm를 가한 후의 공간전하 분포

Fig. 5. Spatial charge distributions of XLPE / EnBA20 blends after field (40 kV/mm) removal

기존의 연구결과와 반대되는 현상으로서, 기존의 연구결과에 의하면 XLPE에는 화학 가교제인 DCP의 분해잔류물 때문에 이종전하가 형성된다고 알려져 있다^{14,17)}. 그러나 일부 XLPE 또는 EPDM의 경우 DCP로 가교시킴에도 불구하고 동종전하의 형성을 보이는 경우도 발표되곤 했다¹⁸⁾. 이러한 결과를 종합하면 DCP로 가교된 XLPE라고 해서 모두 이종전하가 축적되는 것이 아니라 PE의 종류 또는 공중합체를 이루는 성분의 종류에 따라 재료 내에 축적되는 전하의 종류가 결정되는 것으로 보인다. 둘째, 본 연구에서 사용한 블렌드 시료의 경우 양전극 쪽에는 거의 예외없이 큰 음전하가 형성되는 것으로 관찰되었다. 이 음전하는 어떤 경우에도 극성이 변하지 않는 것으로 관찰되었다. 일반적으로는 양전극 쪽에서 발생된 신호는 시료를 통과하는 동안 감쇄되기 때문에 전하피크가 음전극 쪽 피크에 비하여 작으나 본 연구에서는 반대로 양전극쪽의

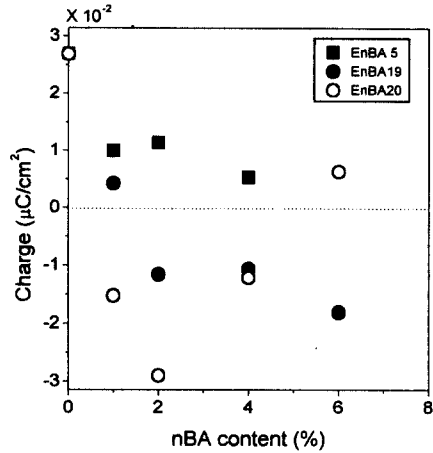


그림 6. XLPE/EnBA 블렌드에 40 kV/mm를 가한 후의 음전극쪽에 축적된 전하량

Fig. 6. Charge near the cathode of XLPE/EnBA blends after field (40 kV/mm) removal

음전하가 매우 큰 것으로 관찰되었다. 이와 같이 양전극쪽에 형성된 큰 음전하는 본 연구에 사용된 산화방지제의 특성인 것으로 밝혀진 바 있다¹²⁾. 즉, 진공처리 및 용매 (Chloroform)에 의한 첨가제 제거처리 등의 처리과정을 거치면서 축적된 전하분포 변화에 대한 연구를 통하여 본 연구에서 사용한 산화방지제가 양전극 쪽에 큰 음전하를 축적시키는 역할을 하는 것으로 밝혀졌다.

본 연구에서 사용한 블렌드 시료의 경우 시료 내부에 양전하가 형성된 것은 양전극 쪽에서 주입된 정공이 시료 내부로 이동하여 형성된 것으로 생각할 수 있는데, 이때 양전극쪽에 형성된 음전하는 전극으로부터 주입되어 이동하는 정공을 중화시키지 않으며 정공이 시료 내부로 이동하는 것을 방해하지 않는 것으로 생각된다.

3.2.2. 수트리 특성

XLPE/EnBA 블렌드의 수트리 시험 결과가 그림 7에 나와 있다. XLPE/EnBA5와 XLPE/EnBA19 블렌드의 경우에 블렌드 시료내의 nBA 함량이 증가하여도 생성된 수트리의 크기는 거의 변화하지 않았지만, XLPE/EnBA20 블렌드의 경우에는 시료내

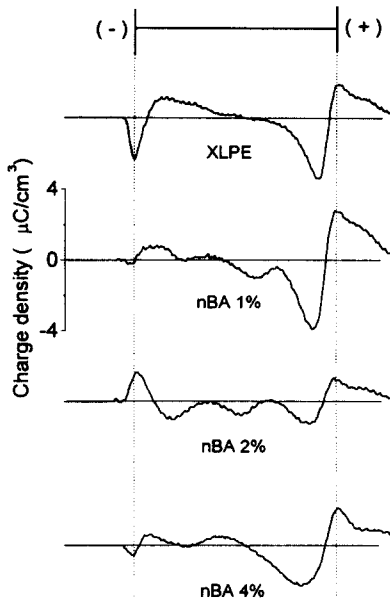


그림 3. XLPE/EnBA5 블렌드에 40 kV/mm를 가한 후의 공간전하 분포

Fig. 3. Spatial charge distributions of XLPE / EnBA5 blends after field (40 kV/mm) removal

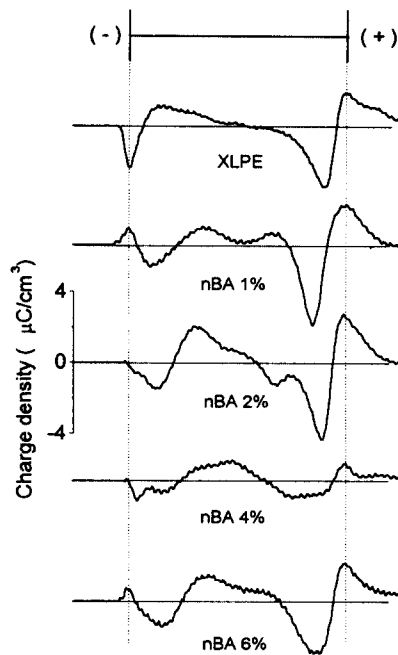


그림 4. XLPE/EnBA19 블렌드에 40 kV/mm를 가한 후의 공간전하 분포

Fig. 4. Spatial charge distributions of XLPE / EnBA19 blends after field (40 kV/mm) removal

3.2. XLPE/EnBA 블렌드의 전기적 특성

3.2.1. 전하축적 현상

XLPE/EnBA 블렌드의 전하분포가 그림 3-5에 나와 있고 음전극쪽에 축적된 전하량을 블렌드내에 들어 있는 nBA 함량의 함수로 도시한 것이 그림 6에 나와 있다.

그림에서 볼 수 있듯이, XLPE/EnBA 블렌드의 경우 동종전하 및 이종전하가 모두 관찰되었다. XLPE/EnBA5 블렌드의 경우 기준시료인 XLPE 보다 적은 양의 이종전하가 축적됨을 알 수 있다. 이 시료의 경우 블렌드내의 들어 있는 nBA 함량을 동일하게 하기 위하여 많은 양의 EnBA를 혼합해야 하기 때문에 블렌드의 전하분포 특성이 EnBA5와 비슷하며 시료내의 nBA 함량이 증가하여도 축적된 전하량은 큰 변화를 보이지 않는 것으로 여겨진다. XLPE/EnBA19 블렌드에 40 kV/mm의 전기장을 30 분동안 가한 후의 공간전하분포를 그림 4에 나타내었다. XLPE/EnBA19 블렌드에서는 양쪽 전극 모두

음전하가 발견되었다. 또한 블렌드 시료의 내부에는 양전하가 축적된 것이 관찰되었다. 그림 5에 XLPE/EnBA20 블렌드의 전하분포가 있는데, 이 블렌드의 경우에는 EnBA19 블렌드와는 달리 시료내의 nBA 함량이 증가함에 따라 음전극쪽에 축적된 동종전하량이 증가하였다가 감소하여, nBA 6%인 시료에서는 적은 양의 이종전하가 관찰되었다. 또한 블렌드내의 nBA 함량이 1%인 경우 EnBA19 블렌드에서와 마찬가지로 시료 내부에 양전하가 축적되었다. 이는 EnBA 모체수지의 전하분포 결과에서 nBA 함량이 증가할수록 양전극으로부터 주입된 양전하가 시료 전반에 걸쳐 분포되어 있는 것으로 관찰되었는데 이와 일치하는 결과이다.

본 연구를 통하여 XLPE/EnBA 블렌드의 공간전하 축적현상에 대한 두 가지 특징을 볼 수 있다. 첫째, 본 연구에서 사용한 여러 블렌드 시료가 음전극쪽에 음전하, 즉 동종전하의 형성을 보였다. 이는

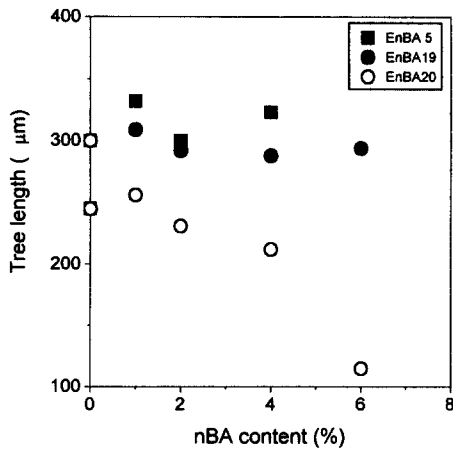


그림 7. XLPE/EnBA 블렌드의 수트리 길이
Fig. 7. Water tree length of XLPE/EnBA blends

의 nBA 함량이 증가함에 따라 생성된 수트리의 길이가 감소함을 알 수 있다.

EnBA를 PE에 블렌드하면 EnBA는 구형의 형태로 PE상에 분산되는데, 이때 필연적으로 계면이 존재하게 된다. 이 계면은 전기적으로는 전계집중의 원인이 되지만 수트리 상장면에 있어서는 수트리 성장을 억제시키는 요인으로 작용할 수 있다. 즉, 성장해 나가는 수트리의 끝부분이 EnBA 상을 만나면 EnBA의 인성이 좋기 때문에 수트리 첨단이 EnBA를 통과하는 것이 아니라 EnBA 상이 계면을 타고 성장하게 된다. 이때 수트리가 사지고 있던 에너지를 잃게 되므로 수트리 성장은 억제된다고 할 수 있다. 이때 nBA 함량이 높을수록 좋은 효과를 나타낼 것이므로 XLPE/EnBA19 블렌드와 XLPE/EnBA20 블렌드의 효과는 거의 동일할 것으로 예상된다. 그러나 특정된 결과는 EnBA20 블렌드는 수트리 성장억제에 효과적이지만 EnBA19 블렌드는 효과적이지 못한 것으로 나타났다. 이는 두 EnBA의 용융지수가 0.3 g/10 min과 6.0 g/10 min로서 두 EnBA의 특성의 차이가 크기 때문으로 생각된다.

3.2.3. 절연 파괴 강도

XLPE/EnBA 블렌드의 절연 파괴 시험의 결과를

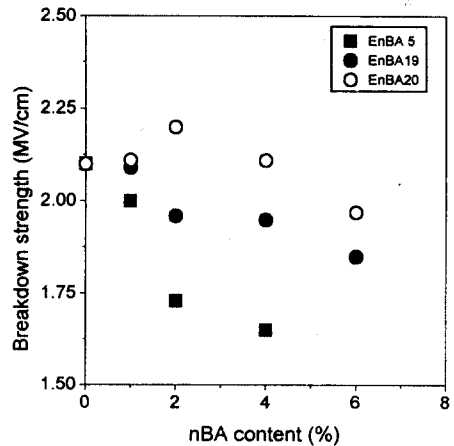


그림 8. XLPE/EnBA 블렌드의 절연파괴강도
Fig. 8. Breakdown strength of XLPE/EnBA blends

그림 8에 나타내었다. EnBA5 블렌드와 EnBA19 블렌드는 nBA 함량이 증가함에 따라 교류전압파괴강도가 감소하지만 EnBA20 블렌드의 경우에는 낮은 nBA 함량에서는 교류전압파괴강도가 XLPE에 비하여 높다가 높은 nBA 함량에서는 다른 블렌드와 마찬가지로 감소함을 보인다. 전체적으로 보아 EnBA5 블렌드보다는 EnBA19 블렌드가, 또한 EnBA19 블렌드보다는 EnBA20 블렌드가 더 큰 절연파괴강도를 갖는다.

3.2.4. XLPE1과 XLPE2의 비교

XLPE1/EnBA20, XLPE2/EnBA20 블렌드의 음전극쪽에 축적된 전하량이 그림 9에 비교되어 있다. 여기에서 XLPE1과 XLPE2는 모두 국내 배전급 전력케이블의 절연용으로 사용되고 있는 XLPE이며, 본 연구에서 주로 연구되어진 재료는 XLPE2임을 밝혀 둔다. 그림에서 보듯이, XLPE1/EnBA20 블렌드에서는 블렌드 시료내의 nBA 함량이 증가하여도 축적된 전하량은 거의 변화를 보이지 않으나, XLPE2/EnBA20 블렌드에서는 시료내의 nBA 함량이 증가함에 따라 동종전하량이 증가하였다가 다시 감소하여 nBA 6%인 시료에서는 이종전하의 형성으로 변화하며 전하량도 감소하는 것으로 관찰되었다.

XLPE1/EnBA20 블렌드와 XLPE2/EnBA20 블렌

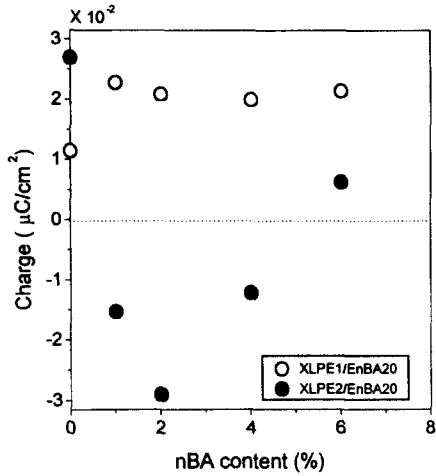


그림 9. XLPE1/EnBA20, XLPE2/EnBA20 블렌드에 40 kV/mm를 가한 후의 음전극쪽에 축적된 전하량
 Fig. 9. Charge near the cathode of XLPE1 / EnBA20 and XLPE2/EnBA20 blends after field (40 kV/mm) removal

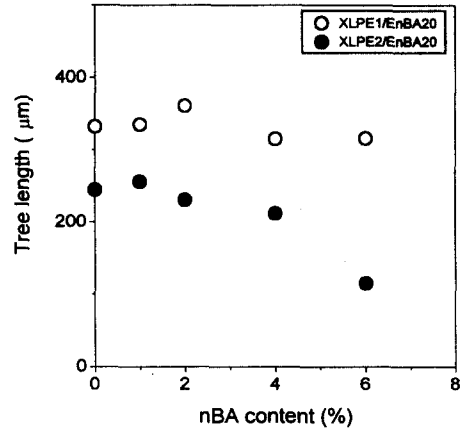


그림 10. XLPE1/EnBA20, XLPE2/EnBA20 블렌드의 수트리 길이
 Fig. 10. Water tree length of XLPE1/EnBA20, XLPE2/EnBA20 blends

드의 수트리 시험 결과를 그림 10에 비교하였다. XLPE1/EnBA20 블렌드의 경우에는 시료내의 nBA 함량이 증가하여도 생성된 수트리의 길이는 변화하지 않았지만 XLPE2/EnBA20 블렌드에서는 시료내의 nBA 함량이 증가함에 따라 생성된 수트리의 길이는 감소하였다.

XLPE1/EnBA 블렌드의 경우 축적된 전하량 및 수트리 특성이 거의 변화하지 않았지만 XLPE2/EnBA 블렌드의 경우 축적된 전하량, 수트리 특성, 절연과피강도의 특성 향상의 결과를 가져왔다. PE에 다른 종류의 에틸렌계 공중합물을 블렌딩하였을 때에도 일정 함량 이상의 comonomer를 포함한 공중합물을 블렌딩하였을 때에만 전기적 특성이 향상된다는 점을 고려할 때¹¹⁾, PE2 블렌드에서는 공중합물내의 nBA 함량이 19-20%인 경우 전기적 특성이 향상되는 임계점이라고 할 수 있을 것이다. 두 폴리에틸렌은 모두 지중 배전케이블의 절연용으로 사용되며 용융지수와 밀도가 각기 2.0 g/10 min와 0.920 g/cm³ 로 동일하나 제조공법이 다른데, XLPE1은 tubular 공법에 의해 생산된 제품이고 XLPE2는 autoclave 공법에 의해 제조된 폴리에틸렌이다. 따라서 같은 XLPE라고 해도 이 고분자의 전기적 특성은 제조공법에 따라 다르다는 것

을 알 수 있다. 그러나 두 폴리에틸렌의 전기적 성질이 다른 정확한 이유에 대하여는 향후 연구가 필요하다.

3.3. 가교조제의 효과

XLPE/EnBA20 블렌드의 특성에 미치는 가교조제의 영향이 그림 11과 12 및 표 1에 나와 있다. 본 연구에서 사용한 시료는 XLPE/EnBA20 블렌드로서 블렌드내의 nBA의 함량은 2%이다. 그림 11은 가교조제인 TMPTA를 사용했을 때 함량에 따른 수트리 길이를 가교제 함량 1.5-2.0 phr에 대하여 도시하였다. 그림에서 보듯이 가교제 함량이 2.0 phr인 경우에는 가교조제의 함량이 증가함에 따라 수트리 길이도 증가하는 경향을 보인 반면, 가교제 함량이 1.5 phr과 1.8 phr인 경우에는 가교조제의 함량이 증가함에 따라 수트리 길이가 감소하다가 1.0 phr을 넘으면 수트리 길이가 다시 증가하는 것으로 관찰되었다. 그림 12에 동일 시료에 대한 가교도 변화가 나와 있는데, 가교제 함량이 2.0 phr인 경우 가교조제가 가교도에 미치는 영향이 거의 없는 것으로 관찰되었다. 그러나 가교제 함량이 낮은 경우, 가교조제 함량이 증가할수록 가교도가 증가하는데, 이로써 가교제 함량이 낮을수록 가교조제의 효과가 더 큼을 알 수 있다. 가교조제를 1.0 phr 사용했을 때의 기계적 성질이 표 1에 나와 있는데, 이 결과를

보면 인장강도 및 연신율 등의 기계적 성질은 가교제 함량이 1.8 phr인 경우의 특성이 가교제 함량이

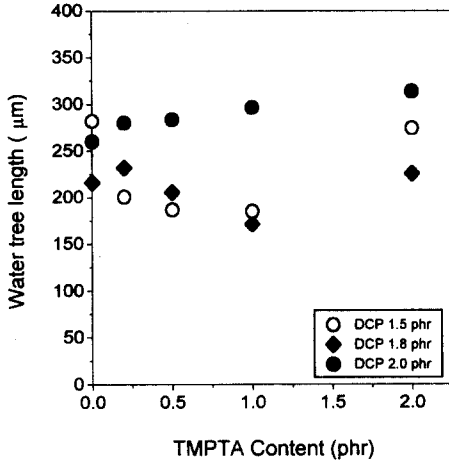


그림 11. 가교조제 함량에 따른 XLPE/EnBA20 블렌드의 수트리 길이

Fig. 11. Water tree length of XLPE/EnBA20 blends as a function of crosslinking coagent content at different DCP contents

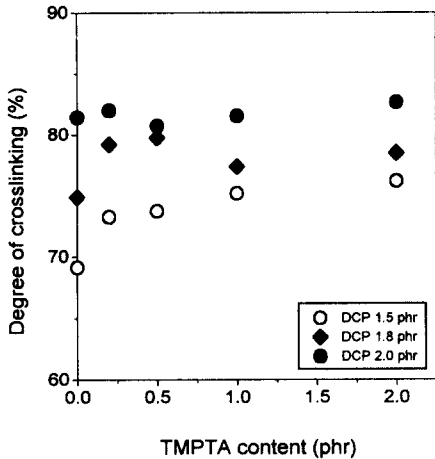


그림 12. 가교조제 함량에 따른 XLPE/EnBA20 블렌드의 가교도

Fig. 12. Degree of crosslinking of XLPE/EnBA20 blends as a function of crosslinking coagent content at different DCP contents

표 1. 가교조제 함량에 따른 XLPE/EnBA20 블렌드의 기계적 특성

Table 1. Mechanical properties of XLPE / EnBA20 blends as a function of crosslinking coagent content at different DCP contents

DCP content (phr)	TMPTA content (phr)	Tensile strength (kg/cm ²)	Elongation (%)	Hot-Set (%)
1.5	0.0	202	560	—
	0.2	204	530	140
	0.5	201	535	108
	1.0	202	530	112
	2.0	205	530	132
1.8	0.0	220	580	85
	0.2	210	530	71
	0.5	216	525	78
	1.0	220	550	80
	2.0	240	565	83
2.0	0.0	221	520	68
	0.2	194	490	64
	0.5	205	510	80
	1.0	207	510	60
	2.0	212	500	48

1.5 phr이나 2.0 phr인 경우보다 약간 좋은 것으로 나타 났다.

위 결과를 보면 가교제 함량이 2.0 phr인 경우에는 가교조제의 효과가 거의 없으나 가교제 함량이 낮은 경우 가교조제의 효과가 좋은 것으로 나타 났다. 가장 좋은 조합은 가교제 함량이 1.8 phr이고 가교조제 함량이 1.0 phr인 것으로 판명되었다. 가교제 함량이 높은 경우에는 PE 사슬이 이미 가교화 되어 가교조제의 효과가 미미하고 가교제 함량이 너무 낮으면 미가교 PE 사슬이 많아 가교조제의 효과가 크기는 하나 전체적인 전기적 성질이 약간 열악한 것으로 보인다.

4. 결 론

(1) PE와 EnBA5는 이중전하가, 그리고 EnBA19와 EnBA20은 시료 내부 전체에 걸쳐 양전하가 축적되며 XLPE/EnBA 블렌드에는 동중전하 및 이중전하 모두 축적되는 양상을 보였다. 이는 PE 및 EnBA 종류에 따른 영향인 것으로 보인다.

(2) 본 연구에 사용된 산화방지제는 양전극쪽에 큰 음전하를 형성하는데, 이 산화방지제는 블렌드 시료에서 보이는 양전극으로부터의 정공의 주입을 방해하거나 주입된 정공을 중화시키지 않는 것으로 밝혀졌다.

(3) XLPE/EnBA 블렌드의 수트리 특성 시험 결과, XLPE/EnBA20 블렌드의 경우 블렌드내의 nBA 함량이 증가하면 수트리 길이가 감소하나 다른 블렌드에서는 이러한 효과가 관찰되지 않았다.

(4) EnA20을 소량 사용할 경우 XLPE/EnBA 블렌드의 절연파괴강도가 향상되는 것으로 밝혀졌다. 다른 시료에서는 모두 EnBA 함량이 증가할수록 교류전압 파괴강도는 감소하는 것으로 나타났다.

(5) 이러한 전기적 성질의 변화는 모체수지인 PE의 종류에 따라 크게 다르며, XLPE/EnBA 블렌드에 가교제제를 사용하면 전기적 성질 및 기계적 성질의 향상에 효과가 있음을 알았다. 이때 TMPTA 1.0 phr과 가교제인 DCP 함량을 1.8 phr로 할 경우 전기적 및 기계적 성질이 가장 우수한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- [1] C. C. Ku and R. Liepins, *Electrical Properties of Polymers; Chemical Principles*, Hanser Publishers, Munich-Vienna-New York, P1987.
- [2] E. J. McMahon, "A Tree Growth Inhibiting Insulation for Power Cables", *IEEE Trans. Electr. Insul.*, Vol. 16, pp. 304-318.
- [3] J. H. Hanm S. H. Lee, C. G. Kang and K. S. Suh, "Effects of Nitrobenzene Derivatives on the Electrical Properties in Polyethylenes", *Trans. KIEE*, Vol. 44, pp. 473-478, 1995.
- [4] M. Nawata and H. Kawamura, "Effects of Additives on dc Treeing Breakdown in Polyethylene under Divergent Fields", *IEEE Trans. Electr. Insul.*, Vol. 25, pp. 527-534, 1990.
- [5] H. Fukugawa and Y. Yasuo, "Development of a New Insulating Material for DC Cables", *Comm. BIII-2, Jicable 84*, pp. 283-287, 1984
- [6] S. Nakasaki, H. Matsubara, S. Yamanouchi, M. Yamada, T. Masuike and S. Fukunaga, "Development of Water-Tree-Retardant XLPE Cables", *IEEE Trans. Power Apparatus and System*, Vol. 103, pp. 536-544, 1984.
- [7] T. Kawashima, T. Maki, T. Takahashi and K. Maeda, "Study on Water Treeing Retardant XLPE Insulation", *Proc. 3rd ICPADM*, Tokyo, Japan, pp. 222-225, 1991.
- [8] Y. Tanaka, Y. Ohki and M. Ikeda, "Morphology of Ethylene-Styrene Copolymers and its Effect on Dielectric Strength", *IEEE Trans. Electr. Insul.*, Vol. 27, pp. 432-439, 1992.
- [9] M Ikeda, Y. Umeshima, Y. Tanaka and T. Tanaka, "Development of new Crosslinked Polyethylene for DC Power Cable Insulator", *1995 CEIDP*, pp. 403-406, 1995.
- [10] I. Ishino, S. Doi, G. Sawa, M. Hikita, I. Kanno and M. Ieda, "Electrical Breakdown of Ethylene Copolymers", *Proc. 2nd ICSD*, Erlangen, Germany, pp. 76-81, 1986.
- [11] K. S. Suh, C. R. Lee, Y. Zhu and J. Lim, "Electrical Properties of Chemically Modified Polyethylenes", *IEEE Trans. Dielectrics EI*, Vol. 4, pp. 681-687, 1997.
- [12] O. Kim, C. R. Lee, M. K. Lee, K. S. Suh and O. S. Kwon, "Physical Properties of Polyethylene/Ethylene n-Butyl Acrylate Copolymer Blends", *Trans. KIEE*, Vol. 45, pp. 1165-1172, 1996.
- [13] Y. Li, M. Yasuda and T. Takada, "Pulsed Electroacoustic Method for Measurement of Charge Accumulation in Solid Dielectrics", *IEEE Trans. Dielectrics EI*, Vol. 1, pp. 188-195, 1994.

- [14] K. S. Suh, S. J. Hwang, J. S. Noh and T. Tanaka, "Effect of Constituent of XLPE on the Formation of Space Charge", *IEEE Trans. Dielectrics EI*, Vol. 1, pp. 1077-1083, 1994.
- [15] K. S. Suh, J. H. Koo, S. H. Lee, J. K. Park and T. Takada, "Effects of sample Preparation Conditions and Short Chains on Space Charge Formation in LDPE", *IEEE Trans. Dielectrics EI*, Vol. 3, pp. 153-160, 1996.
- [16] Y. Suzuoki, H. Muto, T. Mizutani and M. Ieda, "The Role of Space Charge in the Electrical Conduction of Ethylene Vinyl Acetate Copolymers", *J. Phys. D: Appl. Phys.*, Vol. 20, pp 1053-1058, 1987.
- [17] Y. Li, M. Yasuda and T. Tanaka, "Influence on Space Charge Distributions of Crosslinking Agent Residues in XLPE", *Proc. 3rd ICPADM*, Tokyo, Japan, pp. 1210-1213, 1991.
- [18] T. Kogure, T. Maeno and Y. Sekii, 'Space Charge Distribution in Polymer and Physical and Chemical Properties of Polymers', *Proc. 28th Symp. Electr. Insul., Matls*, Japan, pp. 79-82, 1996.