

아크릴산 그래프트 폴리에틸렌의 전기적 성질

이 창 용 · 김 역 · 서 광 석[†]

고려대학교 재료공학과
(1997년 5월 2일 접수)

Electrical Properties of Acrylic Acid Grafted Polyethylene

Chang Ryung Lee, Ok Kim, and Kwang S. Suh[†]

Department of Materials Science, Korea University, Seoul 136-701, Korea

(Received May 2, 1997)

요약: 아크릴산을 용융 그래프트시킨 폴리에틸렌 (PE-*g*-AA)의 전하분포 특성, 전기전도 특성, 수트리 특성 (water treeing), 유전 특성, 그리고 교류 절연파괴강도와 같은 전기적인 성질을 조사하였다. LDPE는 이중전하가 축적되지만 PE-*g*-AA는 그래프트율의 증가에 따라서 이중전하의 축적으로부터 동중전하의 축적으로 변화하며 축적전하량도 감소하였다. 그래프트 반응에 의하여 전기전도기구의 변화는 없으며, 그래프트율에 따라서 전류밀도와 전하이동도가 감소하였다. 그리고, 아크릴산의 그래프트율이 증가함에 따라서 수트리 특성과 절연파괴강도도 증가하였다. PE-*g*-AA의 전기적 성질의 변화는 폴리에틸렌내에 도입되어 트랩위치로 작용하여 주입되는 전하를 증가시키는 카보닐기가 중요한 역할을 하는 것으로 여겨진다.

ABSTRACT: Electrical properties such as space charge accumulation, conduction characteristics, dielectric breakdown and water treeing of acrylic acid-grafted polyethylene (PE-*g*-AA) were investigated. In PE-*g*-AA, heterocharge found in LDPE decreased with the increase of AA graft ratio and changed to the homocharge formation above 0.1 wt% due to the introduction of carbonyls. Conduction currents and charge mobilities of PE-*g*-AAs decreased with the increase of AA graft ratio, while conduction mechanism remains unchanged. AC breakdown strength increased and water treeing length decreased with the increase of graft ratio in PE-*g*-AA. Carbonyls acting as trap sites and sources of charge injection may play an important role in the determination of electrical properties of grafted polyethylene.

Keywords: polyethylene, grafting, space charge, electrical conduction, water treeing, AC breakdown strength.

서 론

전력케이블의 주절연층으로 사용되어지고 있는 폴리에틸렌은 사용환경이 고압화, 대용량화되면서 절연 성능에 대한 신뢰도가 점점 더 요구되어지고 있다. 이에 대한 개선책으로는 여러가지 방법이 연구되고 있는데, 전력케이블의 구조를 개선하는 방법과 절연체인 폴리에틸렌의 개질로 크게 나눌 수가 있다. 이들 중에서 폴리에틸렌을 개질하는 방법으로는 간단한

방법인 첨가제를 혼합하는 방법과 두가지 이상의 고분자를 블렌딩하는 방법으로부터 적절한 극성기를 가진 단량체를 폴리에틸렌 사슬에 그래프트시키거나 polystyrene과 같은 다른 고분자와의 공중합에 이르기까지 많은 연구가 이루어지고 있다.¹⁻³

전압안정제와 같은 절연성능을 증가시킬 수 있는 첨가제를 혼합하거나, 서로 다른 고분자를 혼합하여 물성의 상승작용을 도모하거나 경제적인 면에서 사용되는 블렌드 방법은 다른 방법에 의한 절연체의 개질

보다는 용이하기 때문에 배전급 케이블에서는 많은 부분에서 사용되기도 한다. 특히 ionomer나 ethylene vinyl-acetate copolymer (EVA) 또는 ethylene ethyl-acrylate copolymer (EEA)를 폴리에틸렌과 블렌드하면 절연성의 개선이 보고되기도 하였다.^{4,6} 그러나, 22.9 kV 이상의 특고압 케이블에서의 블렌드는 물성의 향상을 위하여 혼합한 첨가제 자체가 불순물로 작용하여 오히려 전기적 성질을 저하시킬 가능성이 매우 크고, immiscibility로 인한 상분리 현상, 기계적 성질의 저하, 첨가제와의 상용성, 또는 전하의 축적 등의 단점을 가지고 있다.⁷⁻⁹ 그러므로 이러한 경우에는 혼합하고자 하는 작용기 (functional group)를 가진 단량체를 폴리에틸렌의 주사슬에 화학적으로 결합시키는 그래프팅에 의한 개질이 보다 효과적일 것으로 여겨진다.

폴리에틸렌의 절연성능을 개선시키기 위하여 최근 몇몇 연구자에 의하여 그래프팅 방법이 시도된 바 있다. Fluorine 또는 bromine 등을 함유하고 있는 고분자를 폴리에틸렌에 공중합시키면 할로젠 화합물은 전기음성도가 강하여 hot electron을 산란시켜 전기장이 국부적으로 집중되는 현상을 방지하는 효과를 발휘하는 것으로 발표되었다.^{2,8} 또한 폴리에틸렌에 벤젠고리를 갖고 있는 styrene 계통의 고분자를 공중합시키고 기계적으로 kneading을 하면 트리 특성 및 절연파괴 특성 등의 전기적 성질이 향상된다고 발표한 바 있다.¹ 이는 공중합시에 styrene에 의하여 도입된 벤젠고리의 공명 (resonance) 구조가 kneading시 구멍 (spherulite)의 계면에 배향을 하게 되어 여기된 전자를 트랩하기 때문에 전자가 가지고 있는 에너지를 모두 소모시켜 절연체에 손상을 입히지 않는 전자로 바꾸는 역할을 하는 것으로 설명된 바가 있다. 그리고, 폴리에틸렌에 무수 말레인산 (maleic anhydride)을 그래프팅하면 폴리에틸렌 내에 축적되는 전하의 종류가 이종전하에서 동종전하의 축적으로 변화하며, 축적 전하량이 상당히 감소하는 것으로 보고되었다.¹⁰ 이는 첨가된 무수 말레인산이 전하의 트랩으로 작용하여 전극으로부터 주입이 되는 동종전하를 포획하는 현상에 의한 것으로 설명하였다.

따라서 본 연구에서는 폴리에틸렌에 극성기를 보유하고 있는 단량체들 중 아크릴산을 이용하여 폴리에

틸렌에 그래프팅 반응을 시켰다. 그래프팅된 폴리에틸렌의 제조는 절연재료로 배전용 케이블에 사용되고 있는 저밀도 폴리에틸렌에 아크릴산을 혼합하여 과산화물을 촉매로 사용하여 압출기 내에서 압출과 동시에 그래프팅 반응을 하도록 하였다. 그리고, 반응후 아크릴산으로 그래프팅된 시료의 분석과 그래프팅율에 따른 전하축적 특성, 전기전도 특성, 유전 특성, 절연파괴강도 및 트리 특성 등을 측정하여 단량체의 도입에 따른 전기적인 성질의 변화를 살펴보았다.

실 험

그래프팅 반응. 본 연구에서 사용되어진 저밀도 폴리에틸렌 (low-density polyethylene; LDPE, 한양 화학)은 전력 케이블의 주절연용으로 사용되는 것으로 첨가제가 혼합되지 않은 것이며, PE의 용융지수 (melt index; MI)는 2.0 g/10 min, 밀도는 0.920 g/cm³, 중량평균 분자량 (\bar{M}_w)은 144000이고 분자량 분포 (MWD, M_w/M_n)는 약 8이다. 개시제로 사용되는 과산화물은 dicumyl peroxide (DCP)를 사용하였고, 폴리에틸렌에 그래프팅되는 단량체는 아크릴산 (Junsei Chemical Co., laboratory reagent grade)을 사용하였다. 또한, 본 연구에서 사용한 조성은 기본 수지인 폴리에틸렌에 대하여 개시제인 DCP를 0.02 phr로 고정하고, 단량체의 함량을 0.005, 0.01, 0.02, 0.05, 0.07, 0.1, 0.2, 0.5, 0.7 phr로 변화시켜서 평량하였다.

고분자에 다른 단량체를 그래프팅하는 방법은 대개 화학적인 방법, UV나 방사선을 사용한 radiation 방법 등이 사용되고 있다.¹¹ 이들 중에서 radiation 방법은 사용하기는 간편하다는 잇점이 있으나 다량으로 개질된 수지를 제조하기에는 어려움이 있으므로 본 연구에서는 화학적인 방법을 사용하여 폴리에틸렌을 개질하였다. 그래프팅 반응은 Henschel mixer를 사용하여 수지와 단량체, 개시제를 혼합한 후 Ø30인 twin screw extruder (Ikegai Co., PCM30)로 반응 압출시켰다. 이때 extruder의 회전속도는 45 rpm이며 각 barrel의 온도는 165~200 °C로 설정하였고, 수지의 barrel내 잔류시간은 1~1.5분이 되도록 하였다.

Polyethylene-g-Acrylic Acid (PE-g-AA)의 분석.

PE에 그래프트되어 있는 아크릴산의 비율을 계산하기 위하여 반응이 끝난 시료를 150 mesh의 망에 2~3g씩 넣어 140 °C의 xylene에서 4시간 동안 가열하여 가교된 부분과 xylene에 녹아있는 미가교 부분을 분리하였다. 분리후 측정된 PE-*g*-AA의 가교도는 0.02% 이하로 거의 가교된 부분이 존재하지 않는 것을 확인하였다. 그리고, xylene에 녹아있는 PE-*g*-AA를 메탄올을 사용하여 재결정시키고 filtration시 용매로 충분히 씻어 내린 후 70 °C 진공에서 48시간 동안 건조하였다. 각 시료의 그래프트율의 측정은 elemental analyzer (Carlo Erba, EA1108)를 사용하였으며, 각 시료 중에 있는 산소의 농도를 측정 한 후 폴리에틸렌의 그래프트율로 계산하였다.

본 연구에서 제조한 시료는 메탄올로 48시간 동안 교반하여 시료 중의 미반응 단량체 및 단일 중합체를 제거하고 진공에서 24시간 건조시킨 후 물성을 측정하였다. PE-*g*-AA는 FTIR spectroscopy (Perkin-Elmer, System1000)를 사용하여 아크릴산이 그래프트된 것을 확인하였으며, 사용한 분해능은 4 cm⁻¹였다.

전하분포 특성. 전하분포 측정용 시료의 제조는 hot press (Carver Laboratory사)를 사용하여 130 °C에서 8 kgf/cm²의 압력을 가하여 20분간 압축성형하여 두께를 약 700~800 μm로 제조하였다. 반도체 전극은 측정시료와 같이 hot press를 사용하여 180 °C에서 8 kgf/cm²의 압력을 가하여 10분간 압축성형하여 가교반응시켰으며 가교부산물의 영향을 배제시키기 위하여 80 °C의 진공오븐에서 100시간 처리를 한 후 약간의 열과 압력을 가하여 시료의 양쪽면에 부착시켰다.

전하분포의 측정은 전기음향 펄스법 (pulsed electroacoustic method; PEA)을 사용하였으며 측정원리는 기준에 보고되어진 바와 같다.^{12,13} 시편의 한쪽 전극에 10~40 kV/mm의 전기장이 가해지도록 직류전압을 5 kV/mm 간격으로 30분 동안 단계적으로 증가시켜 인가한다. 이때 시료의 내부에는 공간전하가 축적이 된다. 이러한 시편에 양극성의 폭이 10 nsec이고, 2 kV의 펄스전압을 가하여 압력파를 발생시킨다. 압력파는 압전소자에서 전기적 신호로 변환되며 증폭기를 통해 100배 크기로 증폭되어 오실로스코프에서 전압 단위로 측정하게 된다. 이 결과들은

다시 GPIB를 통해 컴퓨터로 전송되고, 얻어진 값들을 전하밀도 단위로 보정하였다. 모든 측정은 전압을 30분 동안 가한 후 단락시킨 다음 전압제거 상태의 전하분포를 측정하였다.

전기전도 특성. PE-*g*-AA의 전기전도도를 측정하기 위하여 hot press를 사용하여 두께 약 20~40 μm의 시료를 제작하여 양쪽면에 진공처리한 필름형태의 반도체 전극을 전하축적 특성 측정용 시료와 같은 방법을 사용하여 부착하였다. 전기전도도의 측정은 기존의 문헌에 보고된 바와 같은 장치를 사용하였다.¹⁴ 본 실험에서는 시편에 50~1000 V의 직류전압을 가한 후 30분 후의 전류값을 정상상태의 전류값으로 측정하였으며 30~85 °C 사이에서 온도를 증가시키면서 전압의 증가에 따른 전도전류의 변화를 살펴보았다. 측정된 결과는 기존의 분석방법을 이용하여 전기전도기구의 분석과 유효전하 이동도를 계산하였다.¹⁵

수트리 (Water Treeing) 특성. PE-*g*-AA의 수트리 특성을 살펴보기 위하여 기준에 발표된 방법을 사용하였다.¹⁶ 시편은 곡률반경이 5 μm인 Ogura 바늘을 사용하여 평판형의 시료에 바늘홈이 생성되도록 제조된 몰드를 이용하였다. 몰딩은 hot press를 사용하여 130 °C에서 30분 동안 압축성형하였다. 이때 바늘끝과 접지전극을 장치하게 되는 시편의 한쪽 끝과의 간격은 약 2.0 mm가 되도록 하였으며 시료의 반대면에 아크릴튜브를 사용하여 컵모양으로 만든 후 수용성 전극으로 0.1 M의 AgNO₃ 수용액을 채웠다. 이와 같은 시편에 백금전극을 통하여 10 kV, 60 Hz의 교류전압을 96시간 동안 가하여 생성된 트리의 평균길이를 측정된 수트리 길이로 하였다.

절연파괴강도. 절연파괴강도의 측정은 교류파괴전압 측정장치 (Hypotronics사)를 이용하였으며, 전극은 6.4 mm Ø의 구대 평판의 형태로 측정하였다. 이들 전극 사이에 두께가 60~80 μm로 제조된 시료를 넣은 후 절연오일 중에서 short time test 방법으로 파괴시 전압을 측정하였으며, 이때의 교류전압의 상승속도는 1 kV/sec이다. 각 시료당 10개 이상의 시료에 대해 파괴강도를 측정하여 최대와 최소값을 제외한 나머지의 평균값을 취하였다.

유전손실. 유전손실의 측정은 유전손실 측정기 (Ando사)를 이용하였으며, ASTM D229 방법을 사용하였다. 측정시 사용된 주파수는 1 MHz이고 상

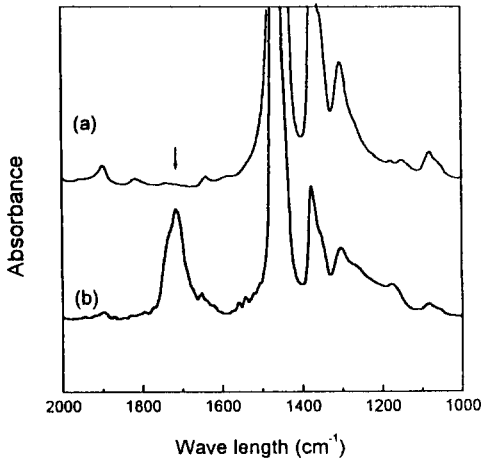


Figure 1. FTIR spectrum : (a) LDPE and (b) PE-g-AA (0.1570 wt%).

은에서 측정하였다.

결과 및 고찰

PE-g-AA의 FTIR 스펙트럼. LDPE와 폴리에틸렌에 아크릴산을 그래프트시킨 PE-g-AA (0.1570 wt%)의 FTIR 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 그림의 (a)와 (b)에 나타난 LDPE와 PE-g-AA의 스펙트럼을 비교하면 대부분 동일한 위치에서 피크가 관찰되지만, LDPE에서는 없으나 PE-g-AA에서만 나타나는 피크가 관찰된다. 특징적인 피크는 PE-g-AA에서 1714 cm⁻¹에서 나타나는데 이는 메틸렌으로 이루어진 PE에 아크릴산이 그래프트됨에 따라서 아크릴산에 존재하는 카보닐 즉, C=O의 stretching에 의한 영향으로 여겨진다. 또한 그림에 나타나지는 않았으나 이 피크는 그래프트율이 증가함에 따라서 증가하는 경향을 나타내었다. FTIR 결과로부터 본 연구에서 사용한 melt grafting 방법에 의하여 PE에 아크릴산이 적절하게 그래프트됨을 확인할 수 있었으며, 제조된 PE-g-AA는 0.0154 wt%에서 0.157 wt% 사이의 그래프트율을 갖는 것으로 측정되었다.

PE-g-AA의 전하축적 특성. 첨가제를 사용하지 않은 순수한 LDPE와 PE-g-AA에 40 kV/mm의 전계를 30분 동안 가하고 전압을 제거한 직후 축적된 전하분포를 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 LDPE의

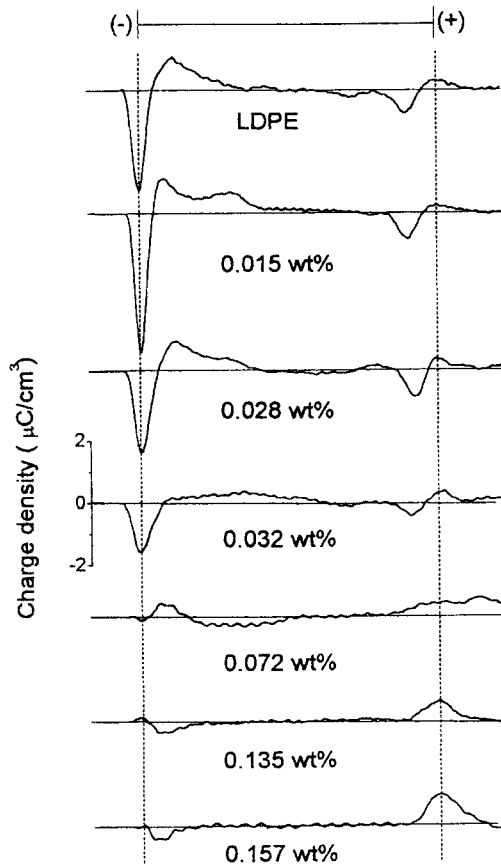


Figure 2. Charge distribution of LDPE and PE-g-AA immediately after short circuiting (40 kV/mm).

경우에는 전압을 가하는 전극의 극성과 다른 극성의 전하가 축적되는 이중전하가 관찰되며 그림에 나타나지는 않았으나 가해진 전계의 증가에 따라서 증가하는 것으로 측정되어졌다.

PE-g-AA에서는 그래프트율이 낮은 경우에는 모체수지인 PE와 같이 이중전하가 축적되는 것으로 관찰되었다. 그러나, 그래프트율이 증가함에 따라서 축적되는 이중전하량이 감소하며 그래프트율이 0.1 wt% 이상이 되면 축적되는 전하의 극성이 반전되어 동종전하의 축적으로 변화하였다. 전하축적 특성 측정결과를 사용하여 PE-g-AA의 음전극 부근에 축적된 전하량이 그래프트율 증가에 따라서 변화하는 것을 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 그래프트율이 증가함에 따라서 축적되는 이중전하량이 약간 증가한 후 감소하여 0.05~0.1 wt% 사이에서는 축적되는 전하가

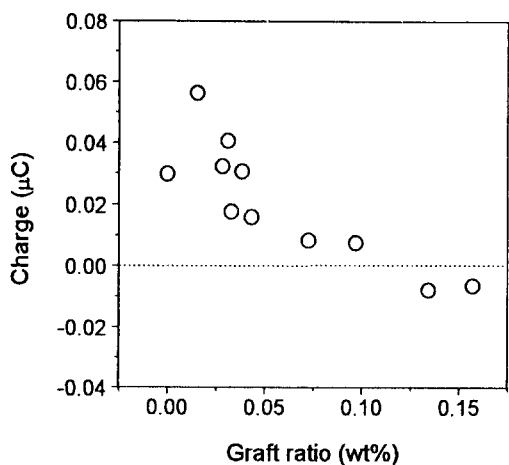


Figure 3. Charge near the cathode of PE-g-AA immediately after short circuiting (40 kV/mm).

거의 관찰되지 않다가 0.1 wt% 이상에서는 동종전하의 축적으로 변화하며 축적되는 동종전하량도 약간 증가하는 양상을 나타내었다.

PE-g-AA의 전하분포 특성을 살펴본 결과 PE에 도입되는 아크릴산의 카보닐기는 시료 내에 주입이 되는 전자를 트랩함으로써 주입되어 트랩된 동종전하를 증가시켜서 이중전하를 감소시키는 역할을 하는 것으로 보인다. 그리고, 전하의 트랩은 축적되는 동종전하량을 더욱 증가시켜서 그래프트율이 증가함에 따라 동종전하가 축적되는 것으로 변화시키는 것으로 여겨진다. 본 연구에서와 같은 카보닐기의 트랩으로의 역할은 무수 말레인산을 그래프트시킨 폴리에틸렌에서 보고된 것과 일치하는 것이다.¹⁷ 카보닐기의 전하의 트랩으로의 역할은 탄소와 산소의 이중결합에 존재하는 π 결합에 의한 현상으로, 카보닐기가 전자받개 (electron acceptor)로 작용하기 때문으로 여겨지며 π -orbital은 쉽게 전자를 받아들일 수 있으므로 전자의 트랩으로 작용할 수 있다. 그러므로 아크릴산의 그래프트율이 증가함에 따라 트랩된 주입전하(동종전하)는 증가하게 되고 이것이 이중전하의 축적을 상쇄하게 되므로 축적되는 이중전하량이 감소하고 동종전하의 축적으로 변화되는 것으로 여겨진다.

전기전도 특성. 그래프트율이 0.031 wt%인 PE-g-AA의 측정온도와 인가전계에 따른 전류밀도의 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서 PE-g-AA는

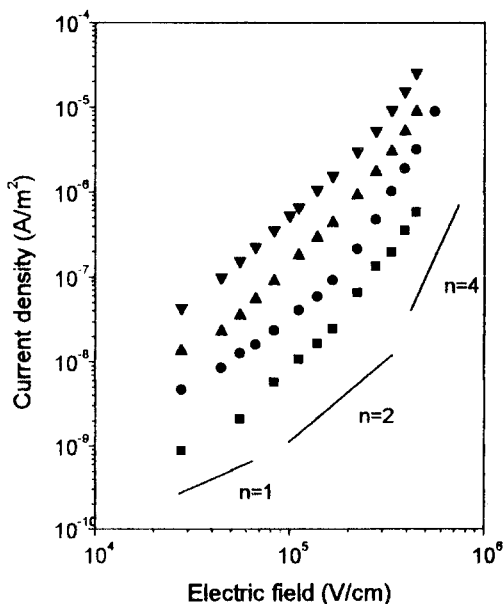


Figure 4. J-E curve of PE-g-AA (0.031 wt%) : 30 °C (■), 50 °C (●), 70 °C (▲), and 85 °C (▼).

인가전계와 온도의 증가에 따라서 증가하는 전류밀도가 관찰되어졌다. 본 연구에서 사용된 모체수지인 LDPE의 전기전도기구는 공간전하 제한전도 (space-charge-limited conduction; SCLC)가 주된 전도기구로 발표된 바가 있다.¹⁸

측정된 PE-g-AA의 J-E 그래프에서는 전류밀도가 전계증가와 함께 직선적으로 나타나는 구간이 3개로 나누어지며 각 영역의 대략적인 기울기를 Fig. 4에 나타내었다. 50 °C에서 측정된 PE-g-AA에서 50 kV/cm 이하의 전기장에서는 결과가 많지 않으나 기울기가 약 1을 나타내므로 ohmic 전도가 주된 전도기구인 것으로 여겨진다. 그리고 300 kV/cm 이하까지의 중간 전기장 영역에서는 기울기가 약 2를 나타내므로 SCLC가 주된 전도기구로 여겨지나 그 이상의 전기장에서는 기울기가 약 4를 나타내므로 전도기구의 확인이 필요할 것으로 여겨진다. SCLC가 주된 전도기구로 작용하는 경우 Child-Lambert law가 적용되므로 시료 두께에 따른 전류의 double logarithm 그래프의 기울기가 -3을 나타내게 된다. Fig. 5에 70 °C에서 전류의 두께의존성을 나타내었으며 기울기가 2와 4인 영역의 각 전압에서 모두 -3을 나타내므로 본 연구에서 제조한 PE-g-AA는 SCLC

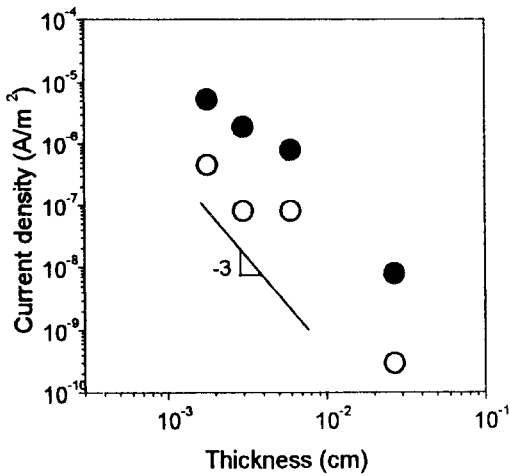


Figure 5. Thickness dependence of current density of PE-g-AA at 70 °C : 300 V (○) and 700 V (●).

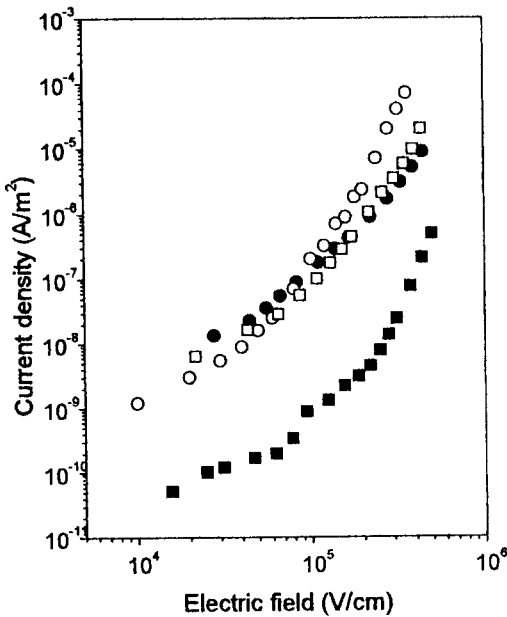


Figure 6. J-E curves of LDPE and PE-g-AA at 70 °C : LDPE (○), 0.031 wt% (●), 0.038 wt% (□), and 0.16 wt% (■).

가 주된 전도기구인 것으로 여겨진다.

서로 다른 그래프트율을 가진 세 종류의 PE-g-AA와 LDPE의 J-E curve를 Fig. 6에 나타내었다. 전계가 낮은 경우 LDPE와 PE-g-AA는 유사한 크기의 전류밀도를 나타내지만 전계가 증가할 때 다른 경

Table 1. Effective Charge Mobility of LDPE and PE-g-AA at 1200 V, 70 °C

	effective charge mobility (m ² /V·s)
LDPE	2.30 × 10 ⁻¹⁴
PE-g-AA (0.038 wt%)	5.63 × 10 ⁻¹⁵
PE-g-AA (0.157 wt%)	6.86 × 10 ⁻¹⁷

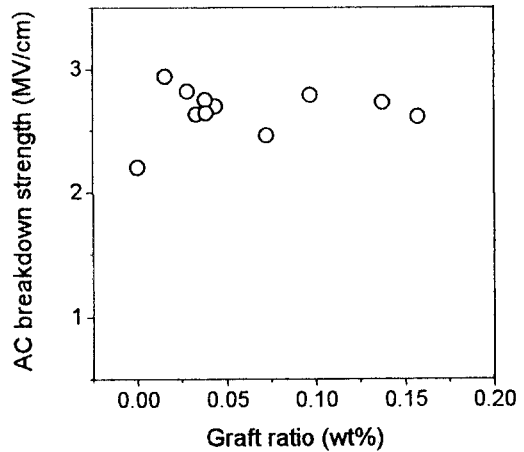


Figure 7. AC breakdown strength of PE-g-AA.

향을 보인다. 즉, 그림에서 그래프트율이 증가할수록 낮은 전류밀도를 나타내며, 전계가 증가할수록 LDPE와의 차이는 증가하는 경향을 보인다. 특히 그래프트율이 0.16 wt%인 경우 전체적으로 아주 낮은 전류밀도를 나타내었다. 그리고, Child-Lambert law에 의하여 계산된¹⁸ 유효전하 이동도를 Table 1에 나타내었으며, 표에서 전하의 이동도는 PE-g-AA가 LDPE보다 낮은 값을 보이며 그래프트율의 증가에 따라서 더 낮은 전하이동도를 갖는 결과를 얻었다. 이는 아크릴산에 의하여 도입된 카보닐기가 전하의 주입을 증가시키는 동시에 전하의 트랩 역할을 하기 때문에 전하의 이동이 용이하지 못하므로 이동도의 감소가 나타나는 것으로 여겨진다.

교류 절연파괴강도. LDPE와 PE-g-AA의 교류 절연파괴강도를 측정하여 Fig. 7에 나타내었다. 그림에서 모체수지인 PE는 2.2 MV/cm를 나타내나, 아크릴산이 그래프트되면 전체적으로 모체수지보다 증가하는 값을 나타내었다. PE-g-AA는 그래프트율이 증가함에 따라서 초기에 크게 증가하여 0.0154 wt%인 경우 최대 2.9 MV/cm를 나타내었으며 본 연구에

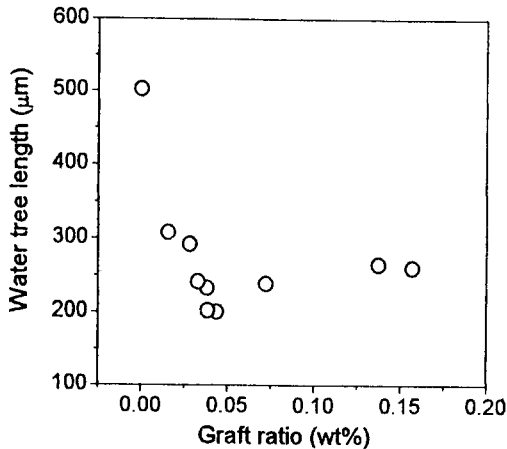


Figure 8. Water tree length of PE-*g*-AA due to the graft ratio.

서 제조한 그래프트율의 범위에서는 거의 일정한 값인 2.7 MV/cm의 파괴값을 보여주었다.

그래프트에 따라서 절연파괴강도가 증가하는 현상은 그래프트된 아크릴산에 존재하는 카보닐기로 인한 것으로 여겨진다. 즉, 카보닐기는 전기트리를 발생시킬 수 있는 에너지를 가진 가속된 전자 (hot electron)를 트랩과 재가속을 반복하게 하여 파괴에 충분한 에너지를 갖는 전자밀도를 감소시키는 결과를 가져오는 것으로 보인다. 이것은 그래프트율의 증가에 따른 전하이동도의 감소로부터 확인할 수 있었다.

수트리 특성. LDPE와 PE-*g*-AA에 10 kV, 60 Hz의 교류전압을 96시간 동안 가하여 생성된 트리의 평균 길이를 측정된 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 그림에서 PE는 503 μm의 수트리 길이를 보여주나, PE-*g*-AA는 그래프트율의 증가에 따라서 수트리 길이가 점차 감소하다가 다시 증가하는 양상을 나타내었다. 성장된 트리의 길이는 그래프트율이 0.05 wt% 부근에서 가장 작은 값을 나타내며 이후 증가하나 본 연구에서 사용한 그래프트율의 범위에서는 PE보다는 작은 약 200~300 μm로 측정되었다.

수트리 특성은 전기트리와 같이 가속된 전자의 영향에 의한 것이 아니므로,¹⁹ 절연파괴강도와 같이 PE 내에 도입된 카보닐기의 트랩작용에 의하여 가속전자의 에너지를 줄여주는 역할을 한다는 설명은 어렵다. 그러나, 수트리는 수분의 존재에 의하여 발생되고, 본 연구에서 제조된 PE-*g*-AA의 기계적 성질은 모

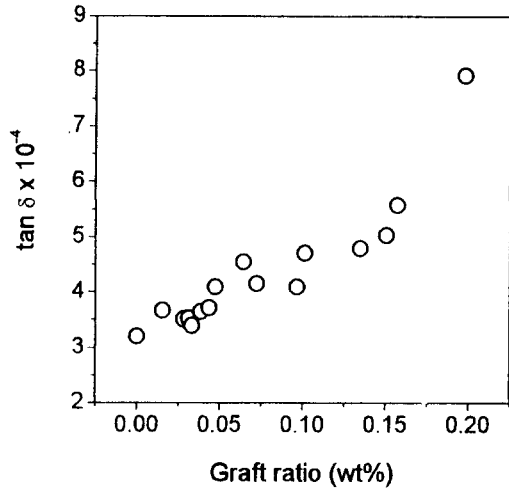


Figure 9. Dielectric losses of PE-*g*-AA at 1 MHz and 25 °C.

체수지인 PE와 차이가 없으므로, 수트리 길이의 감소는 그래프팅에 의하여 PE-*g*-AA에 분산된 극성기가 고분자 사슬의 절단을 시키는 라디칼과 쉽게 반응할 수 있으므로 이것이 수트리의 진전을 억제할 수 있는 것으로 여겨지나 이것은 실험적으로 연구해야 할 필요성이 있는 것으로 여겨진다.

유전손실. Fig. 9에 본 연구에서 제조한 PE-*g*-AA의 그래프트율에 따른 유전손실을 나타내었다. 그림에서 그래프트율이 증가하면 점차로 유전손실이 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, 낮은 그래프트율에서는 PE와 거의 유사한 유전손실을 나타내었다. 그리고, 유전손실이 증가하는 속도는 그래프트율이 약 0.1 wt% 이상이 되면 급격히 증가하는 경향을 보인다. 유전손실의 증가는 한 방향으로 배향된 고분자 사슬이 교번 전기장을 따라서 용이하게 변위하지 못하기 때문에 나타나게 되므로, 본 연구에서는 도입된 아크릴산의 카보닐에 의한 dipole에 의한 영향으로 여겨진다. 그러나, 0.1wt% 이하의 그래프트율에서는 LDPE보다는 약간 증가하나 큰 변화가 없는 유전손실을 나타내었다. 그러므로, 다른 전기적인 성질이 증가하는 그래프트율의 영역에서는 PE-*g*-AA의 유전특성이 크게 변화하지 않는 것으로 여겨진다.

결 론

폴리에틸렌에 아크릴산을 그래프트시킨 PE-g-AA의 전하분포를 측정 한 결과 이중전하에서 동중전하로 변화하며 측정되는 이중전하량은 감소하는 것으로 측정되었다. PE-g-AA의 절연파괴강도와 수트리 특성은 아크릴산의 그래프트율의 증가에 따라서 증가하는 경향을 보이며, PE-g-AA의 전기전도기구는 SCLC로 PE와 동일하나 그래프트율의 증가에 따라서 전하이동도는 감소한다. 이러한 현상은 그래프트된 카보닐기가 트랩위치로 작용하여 전하의 주입을 증가시키는 현상에 의한 것으로 여겨진다. 유전손실은 0.1 wt% 이하에서는 LDPE보다 약간 증가하나 큰 변화가 관찰되지 않았다. 따라서 아크릴산을 폴리에틸렌에 그래프트하는 경우 전하축적 특성과 내전압 특성, 내트리 특성 등의 전기적인 성질이 향상되는 결과를 얻었다.

감사의 글: 본 연구는 한국전력공사의 연구비 지원에 의해 기초전력공학공동연구소 주관으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. Y. Tanaka, Y. Ohki, and M. Ikeda, *IEEE Trans. Electr. Insul.*, **27**, 432 (1992).
2. T. Nakao, M. Fukuyama, H. Hayashi, K. Ishii, and Y. Ohki, *IEEE Trans. Electr. Insul.*, **25**, 1085 (1990).
3. S. Uda, T. Asada, Y. Ohki, Y. Tanaka, and M. Ikeda, *Proc. 25th Symp. on Elec. Ins. Materials*, Nagoya, Japan, 321 (1993).
4. J. S. Noh, K. S. Suh, and C. R. Lee, *Polymer (Korea)*, **16**, 638 (1992).
5. T. Hozumi, N. Yasuda, and T. Fukui, *Proc. 25th Symp. on Elec. Ins. Materials*, Nagoya, Japan, 373 (1993).
6. J. H. Lee, M. K. Han, K. S. Suh, S. J. Kim, and D. W. Jeong, *Proc. 4th International Conference on Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics*, Senstri Levante, Italy, 451 (1992).
7. K. S. Suh, S. J. Hwang, J. S. Noh, and T. Takada, *IEEE Trans. Dielectrics EI*, **1**, 1077 (1994).
8. C. C. Ku and R. Liepins, "Electrical Properties of Polymers: Chemical Principles", Hanser Publishers, Munich-Vienna-New York, 1987.
9. K. S. Suh, C. R. Lee, and J. Y. Kim, *IEEE Trans. Dielectrics EI*, **3**, 201 (1996).
10. S. H. Lee, J. K. Park, J. H. Han, and K. S. Suh, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **30**, 1 (1997).
11. H. R. Allcock and F. W. Lampe, "Contemporary Polymer Chemistry", Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1990.
12. Y. Li, M. Yasuda, and T. Takada, *IEEE Trans. Dielectrics EI*, **1**, 188 (1994).
13. K. S. Suh, H. J. Lee, D. S. Lee, and C. G. Kang, *IEEE Trans. Dielectrics EI*, **2**, 460 (1995).
14. K. S. Suh, C. R. Lee, and M. K. Han, *Polymer(Korea)*, **15**, 431 (1991).
15. K. S. Suh, C. R. Lee, J. S. Noh, J. Tanaka, and D. H. Damon, *IEEE Trans. Dielectrics EI*, **1**, 224 (1994).
16. M. K. Lee, J. H. Han, and K. S. Suh, *Proc. Korea-Japan Joint Conf. on Prediction of Remnant Life and Insulation Diagnosis Technology on Power Apparatus and System*, Cheongju, Korea, 103 (1995).
17. S. H. Lee, J. K. Park, J. H. Han, and K. S. Suh, *IEEE Trans. Dielectrics EI*, **2**, 1132 (1995).
18. K. S. Suh and C. R. Lee, *Polymer(Korea)*, **15**, 735 (1991).
19. L. A. Dissado and J. C. Fothergill, "Electrical Degradation and Breakdown in Polymers", Peter Peregrinus Ltd., London, 1992.