

A Study on Space Charge Distribution of HDPE Mixed with EVA

정 의 환* · 허 준* · 윤 재 훈** · 임 기 조*** · 이 흥 규†
 (Eui-Hwan Jung · Jun Heo · Jae-Hun Yoon · Kee-Joe Lim · Hyung-Kyu Lee)

Abstract - In this paper, each specimen blended at weight proportions of 80% HDPE to 20% EVA, 70% HDPE to 30% EVA, 60% HDPE to 40% EVA, and 50% HDPE to 50% EVA was manufactured respectively. The insulation performances of the proposed insulator were compared with conventional XLPE, main insulating material of CV cable on the basis of the investigation results of DC insulation performances. From the space charge density, electric field and potential profiles with raising DC voltage and time variation in HE82, distortion of electric field distribution was improved. As EVA mixed into the bulks acts as nucleation in crystallization process of HDPE, the size of spherulites became decreased and finally formed continuous network structure. Ultimately, it resulted from extinction of space charge in the interfacial region of spherulites.

Key Words : HDPE, EVA, HVDC, Space charge distribution, Electric field, Potential profile

1. 서 론

대용량 전력기기의 소형화, 전력계통의 초고압화가 가속됨에 따라 사용 환경에 부합하는 우수한 절연내력을 갖는 절연재료 개발에 대한 연구가 동시에 활발히 진행되어 왔다. 기존의 고분자절연재료의 개질방식은 유기물 첨가, 무기물 첨가, 첨가제 혼합, 고분자쇄에 적절한 단량체를 그래프트(graft)시키는 방법이 주류를 이루고 있다.

이들 방법의 대부분은 제조 공정에서 혼입되는 불순물, acetophenone, cumyl alcohol, α -methyl styrene과 같은 가교시 발생되는 1, 2차 가교 잔유물, 산화방지제 등과 같은 첨가제의 변질 및 휘발(blooming-out), 분산 불량 등에 기인한 체적저항율의 저하, 공간전하 축적, 유전손실의 증가 등 절연열화를 가속시킨다. 특히, acetophenone(약 2.9 Debye)과 cumyl alcohol(1.7 Debye)과 같은 큰 쌍극자모멘트를 갖는 영구 쌍극자 분자는 가교반응에서 형성되며, 시료표면을 향해 확산된다. 공간전하 피크의 크기나 폭이 의미하는 쌍극자의 농도는 XLPE내의 산화방지제, 조기가교억제제와 같은 첨가제 및 가교과정에서 생성된 부산물이나 불순물 함유 정도와 일치한다고 보고되고 있다[5].

또한 공간전하축적에 의한 전계왜곡을 유발하여 절연열화를 가속시키는 등 직류 고전압 케이블 절연재료 적용하는데

많은 제약이 있어서 최근 주목받고 있는 직류 송배전용 케이블 절연재료도 부응하기 어려운 문제점이 있다.

아울러 직류고전압, 임펄스, 극성반전, 단락전압과 같은 다양한 형태의 전원 환경하에서 공간전하 형성은 전기트리 개시 및 진전에 강한 영향을 미친다. 특히, 직류고전압 하에서 공간전하의 축적은 절연재료 내의 전계분포를 왜곡시켜 상대적으로 낮은 인가전압에서도 절연 열화가 진행되어 절연파괴를 유발하는 요인으로 작용한다. HDPE는 무극성 고분자로서 높은 결정화도와 구경반경이 크고 주파수에 따른 유전율의 변화가 적어서 절연성능은 양호하나 낮은 취성을 갖고 있어서 가요성과 굴곡강도와 같은 기계적 물성의 보완이 요구된다[1].

따라서, 본 연구에서는 기존 전력케이블 절연재인 XLPE의 단점인 복잡한 제조공정에서 개입될 수 있는 절연 성능저하를 HDPE의 내부 반도체층과 절연층간의 접착력을 개선하고, 기계적 물성을 보완하고자 전력용 케이블의 반도체층의 기본수지로 사용되는 유극성 고분자인 에틸렌 비닐아세테이트(ethylene vinyl acetate, 이하 EVA)(VA함량 : 12[%])를 80:20, 70:30, 60:40, 50:50의 중량비별로 혼합하여 시편을 제작하였다. 직류절연특성으로 인가전계증가에 따른 공간전하분포와 극성반전 및 단락 후의 공간전하분포를 나타낸 것이다.

2. 본 론

2.1 HDPE/EVA 혼합 절연재의 특성

기존 전력용 케이블 절연재인 XLPE는 열안정성을 개선하기 위해 폴리에틸렌에 DCP와 같은 화학가교제를 혼합시킨 후 고온 고압에서 가교시킨 것으로 PE원료의 초정결화나 건식가교 적용, 3중 동시압출방식과 같은 제조공정의 개

* 준 회원 : 충북대 전자정보대 전기공학과 석사과정
 ** 정 회원 : 충북대 전자정보대 전기공학과 박사과정
 *** 펠로우회원 : 충북대 전자정보대 전기공학과 정교수 · 공박
 † 교신저자, 정회원 : 충주대 첨단과학기술대 전기공학과
 조교 · 공박

E-mail : hglee@cjnu.ac.kr

접수일자 : 2009년 8월 21일

최종완료 : 2009년 9월 17일

선으로 500[kV]급 초고압 교류 전력용 케이블 절연에도 적용되고 있다. 최근 송변전계통의 초고압화가 가속됨에 따라 계통의 안전도측면에서 장점이 있는 대용량 장거리 송전수단으로서 고전압 직류송전방식이 매년 급속히 확산되고 있다. 현재까지 HVDC케이블로 유침지(paper impregnated)나 오일 충전(oil-filled) 절연케이블이 대부분 이용되고 있으나, 제조공정이 복잡하며 급유설비와 같은 부대설비가 필요하고 고가인 단점이 있다. 그래서 고분자재료를 HVDC케이블 절연체로 적용하기 위한 연구 개발이 활발히 진행되어, 최근 HVDC케이블용 절연체로 XLPE가 일부 적용되고 있다[2].

직류 고전압하에서 XLPE와 같은 고분자 절연체내의 공간전하축적현상은 제조공정에서 개입될 수 있는 산화방지제, 첨가제, 가교반응 잔류물, 불순물 등에 강한 영향을 받으며, 전계분포를 왜곡시켜 온도상승이나 극성반전에 의해 낮은 절연과피강도에서도 절연과피를 유발한다. 기존 XLPE절연체와 비교했을 때 동등이상의 열적 성능, 절연 성능 및 기계적 성능뿐만 아니라 재활용을 통한 친환경성 제고에도 기여할 수 있으며, HVDC 케이블용 절연체 적용시 공간전하억제에 의한 전계 왜곡을 완화시킬 수 있는 대체절연체 개발을 목표로 하였다. 이런 관점에서 고분자절연체로 내부(bulk)특성의 개질방법으로 기존 가교방식의 제조공정에서 개입될 수 있는 결합을 배제할 수 있는 열가소성 고분자간의 블렌딩에 의한 비가교방식이 유용할 것으로 판단하였다. 기반수지로서 HDPE와 EVA는 폴리프로필렌(polypropylene), 폴리스티렌(polystyrene), 폴리염화비닐(polyvinyl chloride)과 더불어 폴리올레핀(polyolefin) 계열의 대표적인 수지로서 현재 산업용 및 생활 플라스틱의 주류를 이루고 있으므로 물질재활용율이 높고, 압출성형과 중공성형에 의한 가공성이 양호하다.

표 1 제작 공정 중 폴리에틸렌 기본 특성

Table 1 Basic properties of PE with process




Material	LDPE	LLDPE	HDPE
Molecular structure			
Density [g/cm ³]	0.91~0.93	0.92~0.94	0.94~0.97
Crystallinity	50%	50%	90%
Melting Point[°C]	105-120	120-130	120-140
Process	High pressure	Low pressure	Midium/Low pressure

표 1에 나타난 바와 같이 중·저압법으로 제조되는 HDPE는 무극성 고분자로서 밀도와 결정화도가 높고 기존 XLPE절연체와 비교해볼 때 내열성 판단 기준이 되는 용점이 높으며, 강직성(stiffness)을 갖고 있다. 또한 1017~1019 [Ω·m]정도의 고체저항율을 갖고 있으며, 유전율의 주파수의존성도 낮아 절연 성능이 매우 우수하다.

그러나 HDPE는 구정(spherulites) 사이에 있는 tie분자의 수가 적고 저분자량의 비정질부분이 구정사이에 약한 경계를 형성하여 외부 충격에 쉽게 부서지는 취성(brittleness)특성을 갖고 있다. 따라서 전력용 케이블 절연체로 적용하고자 할 때 포장 및 포설 과정에서 요구되는 가요성과 굴곡강도에 영향을 미치는 취성에 대한 개선이 반드시 필요하다. 유극성 고분자로서 주로 전력용 케이블 반도체층의 기반수지로 사용되고 있는 EVA는 유연성, 충격강도, 내후성, 인열강도, 내환경응력균열성(environmental stress crack resistance, ESCR), 내오존성과 같은 기계적 특성이 우수하다.

그림 1에 나타난 바와 같이 EVA의 화학구조상 PE계열 고분자재료와의 상용성이 양호하여 HDPE와 혼합 사용시 가공성 향상을 기대할 수 있다.

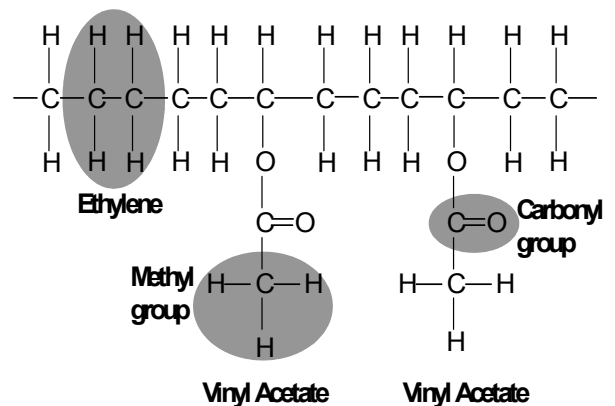


그림 1 EVA공중합체의 화학적 구조
Fig. 1 Chemical structure of EVA copolymer

따라서 그림 2와 같은 분자구조를 갖는 HDPE와 HDPE의 주쇄(main chain)의 곁가지(side branch)에 극성기 도입을 통한 열전도율을 개선시켜 열안정성 향상과 굴곡강도 및 가요성과 같은 기계적 성능을 보완하기위해 EVA(VA함량 12[%])를 기반수지로 선정하였다.

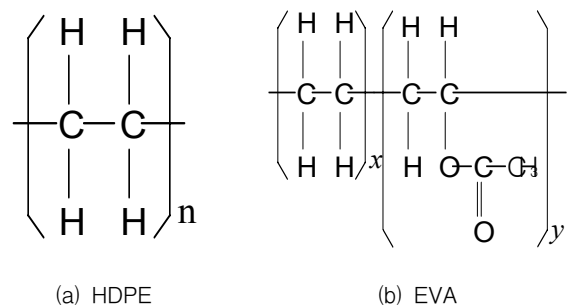


그림 2 HDPE와 EVA의 분자구조
Fig. 2 Molecular structure of HDPE and EVA

또한 선정된 기반수지를 중량비별로 혼합하여 시편을 제작하고, 기존 XLPE절연체와 비교·분석을 통해 열적 성능 및 교류 및 직류 절연 성능이 최적인 조성을 도출하여 전력용 케이블 절연체로서 적용성을 검토하였다.

2.2 비가교방식에 의한 HDPE/EVA 혼합 절연재의 제조

기존 XLPE 절연재와 비교해 동등이상의 절연 성능을 확보하고 재활용이 가능하여 친환경적이며, 제조비용을 절감할 수 있는 대체 절연재 개발을 위해 폴리올레핀 계열수지인 HDPE와 EVA(VA함량 12%) 공중합체를 중량비별로 혼합한 비가교 개질방식을 적용하였다.

표 2는 본 실험에 사용된 기반수지인 HDPE, EVA의 물성을 기존 XLPE와 비교한 것이다.

표 2 고분자의 물리적 성질

Table 2 Physical properties of polymer

Category	Value			Test method
	HDPE	EVA	XLPE	
Melting Index[g/10min]	0.04	1	0.8~1.0	ASTM D1238
Density[g/cm ³]	0.956	0.936	0.91~0.93[7]	ASTM D1905
Tensile strength[kg/cm ²]	300	200	326[24]	ASTM D638
Elongation at break[%]	500	750	512[24]	ASTM D638
ESCR[Hrs]	>600	>500	>500	ASTM D1693
Softening point[°C]	124	71	123	ASTM D1525

그림 3은 비가교방식에 의한 시편의 블렌드 과정을 나타낸 것이다. 그림과 같이 펠렛상의 HDPE와 EVA에 대해 전자저울을 사용하여 각각 80:20, 70:30, 60:40, 50:50의 중량비율로 칭량하고, 균일한 분산을 위해 Weissenberg 효과를 이용한 미량혼련압출기로 180[°C]로 10분간 용융 블렌드하였다. 그런 다음 압출 및 펠렛화 과정을 거쳐 Hot press를 사용하여 순수 EVA는 120[°C]로 순수 HDPE 및 혼합비율이 80:20, 70:30, 60:40, 50:50인 시편 4종류는 2600[psi]의 압력으로 160[°C]에서 5분간 가압 성형한 후 상온에서 서냉하여 제 특성 검토에 적합하게 시트 상으로 제작하였다.

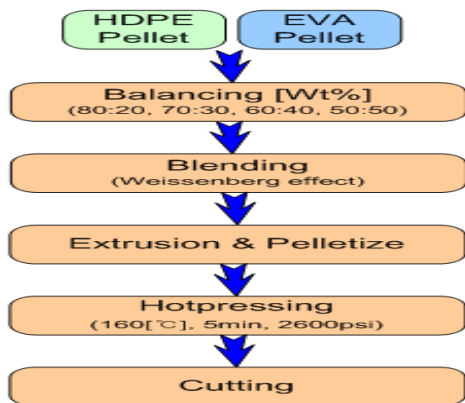


그림 3 비가교방식에 의한 시편 제조과정
Fig. 3 Manufacturing process of specimens using non-crosslinking method

2.3 실험

2.3.1 실험방법

순수 HDPE, 순수 EVA, HE82, HE73, HE64, HE55시편을 각각 두께 약 420~500[μm]의 시트 상으로 성형한 후 가로 4.9[cm]×세로 4.9[cm]크기로 절단하여 공간전하분포측정용 시편을 제작하였다.

또한 제작된 각 시편에 대해 그림 4와 같이 상부전극하부에 음향임피던스 매칭을 위한 반도전 전극이 부착된 공간전하측정 및 분석 시스템(日本 Five Lab製, PEANUTS)을 사용하여 직류 고전압 V_{dc} 에 중첩된 직류 400[V]의 펄스전압 $V_P(t)$ 를 인가하면 식 (1)과 같이 펄스 응력항을 포함한 맥스웰 응력이 발생한다. 즉, 제 2항과 같은 펄스압력파가 발생한다. 이 펄스 압력파는 시편 방향으로 펄스폭이 조밀한 파형이 전극방향으로는 펄스폭이 넓은 파형이 각각 반대 방향으로 전파된다.

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{1}{2} \epsilon \left(\frac{V_{dc} + V_P(t)}{d} \right)^2 \quad (1) \\
 &= \frac{1}{2} \epsilon \left(\frac{V_{dc}}{d} \right)^2 + \epsilon \frac{V_{dc}}{d} \frac{V_P(t)}{d} + \frac{1}{2} \epsilon \left(\frac{V_P(t)}{d} \right)^2
 \end{aligned}$$

시편내에 공간전하가 존재하고 있다면 이 전하로부터도 펄스압력파가 발생하여 양방향으로 전파된다. 접지전극의 바깥쪽에 부착된 압전센서로 시간적으로 변화하는 압력파를 측정하면 그 유기전하신호 $q(t)$ 는 전하분포를 나타내며, 시편내의 공간전하분포를 측정할 수 있게 된다.

이러한 펄스 정전 응력법(pulsed electro-acoustic method)의 측정원리를 이용하여 각 시편의 공간전하밀도, 전계 및 전위 분포의 전압의존성을 검토하기 위하여 각 시편에 직류 전압을 10분간 1, 3, 5[kV]로 상승시켜 인가하였을 때 인가 전압에 따른 공간전하밀도분포를 측정하였다.

또한 공간전하밀도, 전계 및 전위 분포의 경시변화를 검토하기 위하여 각 시편에 DC 3[kV] 전압을 30분, 50분간 인가하였을 때의 공간전하밀도를 측정하고, 식(2)를 이용하여 전계 및 전위 분포를 산출하였다.

$$\begin{aligned}
 E(x) &= \int \rho(x) dx / \epsilon_0 \epsilon_r = \sum (\rho(x) \times V_{specimen} \times \tau) / \epsilon_0 \epsilon_r \quad (2) \\
 V(x) &= - \int E(x) dx = - \sum (E(x) \times V_{specimen} \times \tau)
 \end{aligned}$$

여기서, $V_{specimen}$ 은 측정 시편의 초음파 전달 속도, ϵ_r 은 측정시편의 비유전율, τ 는 샘플링 주기(sampling interval)이다.

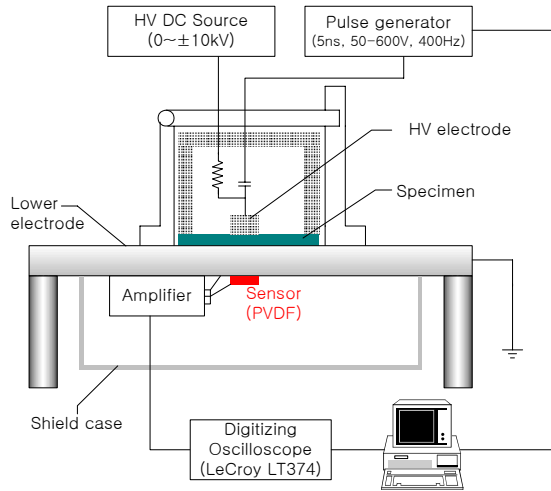


그림 4 PEA법을 사용한 공간전하측정과 분석시스템 도식표
 Fig. 4 Schematic diagram of space charge measurement and analysis system using PEA method

2.3.2 실험결과 및 검토

그림 5~7은 두께 420~500[μm]인 각 시편에 대해 직류전압을 10분간 1, 3, 5[kV]로 변화시켜 인가하였을 때 공간전하 밀도분포 및 전계로부터 환산한 전위분포를 나타낸 것이다.

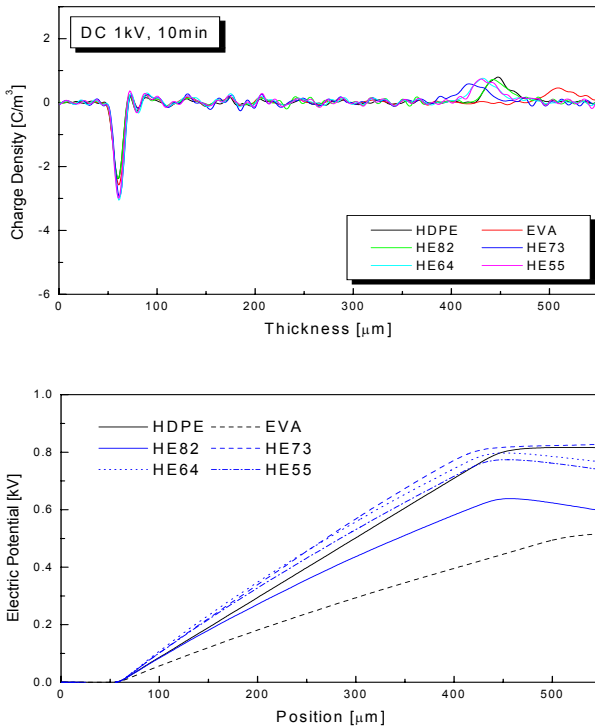


그림 5 공간전하분포, 전위분포의 인가된 전압 의존성(DC 1[kV], 10[min])
 Fig. 5 Applied voltage dependency of space charge distribution, electric potential distribution (DC 1[kV], 10[min])

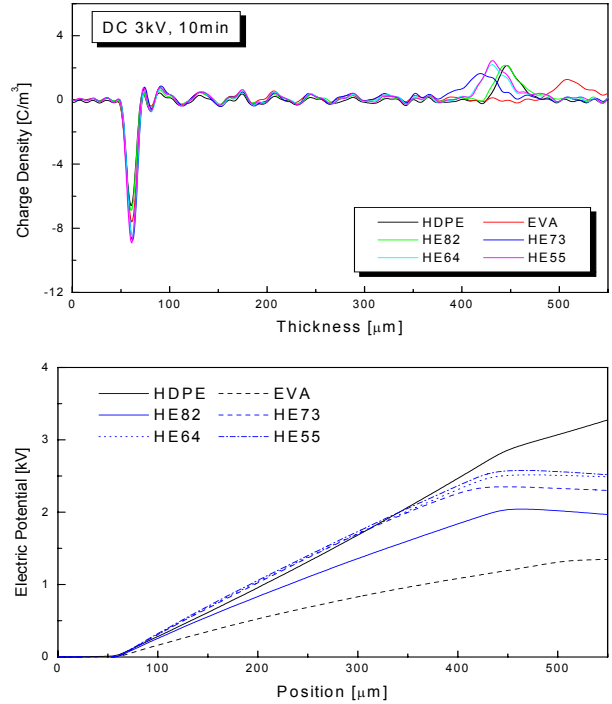


그림 6 공간전하분포, 전위분포의 인가된 전압 의존성(DC 3[kV], 10[min])
 Fig. 6 Applied voltage dependency of space charge distribution, electric potential distribution (DC 3[kV], 10[min])

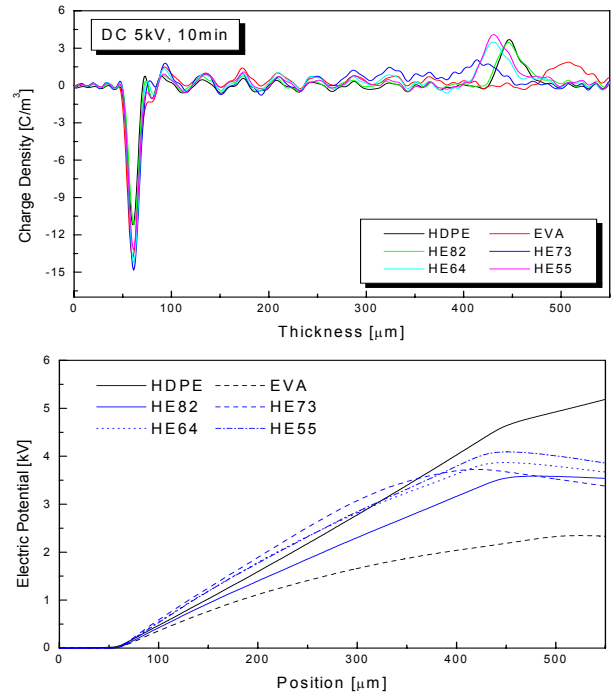


그림 7 공간전하분포, 전위분포의 인가된 전압 의존성(DC 5[kV], 10[min])
 Fig. 7 Applied voltage dependency of space charge distribution, electric potential distribution (DC 5[kV], 10[min])

Anode측과 Cathode측 전극에서 공간전하 피크의 차이는 Anode측 전극에서 발생한 압력파가 시료를 전과할 때 생기는 분산과 감쇄 및 압전 센서의 감도에 기인한 것으로 생각된다. Anode 측의 순수 EVA와 각 시편의 피크 형성 지점 및 전하밀도의 차이는 순수 EVA시편의 경우 다른 시편에 비해 상대적으로 저밀도이고, 혼합시편 중 HE73시편의 경우 시편가공과정에서 기내에 채류되어 있던 육안으로 식별하기 곤란한 정도의 불순물(탄화 수지)등 저분자량 성분과 불안정한 구경 계면에서 분자쇄의 절단에 따라 Carrier mobility가 증가하여 전하밀도에 차이를 보이고 있다. 또한 피크 형성 지점이 다른 것은 시편의 두께차이에 기인한 것으로 사료된다.

각 시편내부에서의 전위분포로부터 알 수 있듯이 인가전압이 상승함에 따라 HE55>HE64>HE73>HE82시편 순으로 HDPE내의 EVA혼합량이 높을수록 전위는 높게 나타났다. 전위가 낮을수록 양극 측으로부터 정극성의 전하주입이 용이하며, 특히, 순수 EVA의 경우 상대적으로 낮은 결정화도와 HE73시편의 경우 구조적 결함 등의 영향에 의해 실효 퍼텐셜이 저하되는 것으로 사료된다.

그림 8~9는 각 시편에 대해 직류 3[kV] 전압인가 하에서 각각 30분경과 후, 50분경과 후 공간전하밀도분포의 경시변화를 나타낸 것이다. 그림에서 EVA와 혼합비율 70:30인 시편의 공간전하분포 패턴이 다른 시편에 비해 차이를 보이고 있는데, 시편내부에 분포하는 공간전하는 내부전계를 왜곡시켜 HVDC 절연재료의 성능에 심각한 영향을 줄 수 있다. 특히, EVA의 경우 혼합시편에 비해 Anode측 전극으로부터 정전하가 주입되기 용이하며, 밀도가 상대적으로 낮아 정극성 캐리어(positive carrier)의 이동도(mobility)가 향상되어 음극측으로 전하가 활발히 이동하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 두께 75[μm]부근에서 인가시간에 따른 부극성 Peak형성은 음극부근에 형성된 정전하가 음극에 대해 이중전하(Hetero charge)로 작용하여 음전극부근의 전계를 강조하여 부전하가 주입이 촉진되는 것으로 이해할 수 있다.

따라서, 순수 EVA시편의 음극측에 형성된 동종전하(Homo charge)는 장시간 과전 및 극성반전 사용조건하에서 음극측의 전계를 강조하여 절연파괴를 유발하는 요인으로 작용하므로 서 장기 신뢰성을 확보 할 수 없다. 또한 HDPE의 경우 높은 체적저항율을 갖고 있어 절연성능은 우수하나, 취성(Brittleness)특성으로 인해 전력용 케이블 포설과정에서 요구하는 가요성이나 굴곡강도와 같은 기계적 물성은 취약하다. 따라서 직류 송배전급 케이블 절연재료로서 적용을 고려해 볼 때, 단일 고분자보다는 상용성이 있는 고분자간의 블렌드는 단일고분자가 갖고 있는 전기적, 기계적인 취약점을 보완할 수 있는 효과적인 대안이다.

그림 9에서 보는 바와 같이 순수 EVA와 HE73시편을 제외한 다른 시편의 경우 시간경과에 따른 전계분포에 큰 변화는 관측되지 않았다. EVA시편의 경우 전압인가 초기에는 양극 측에서 주입된 정극성의 전하가 카보닐기(C=O group)의 기여로 트랩되어 음극 측으로의 이동이 억제되고 있다. 그러나 시간이 경과함에 따라 트랩이 충만하게 되어 음극측으로 캐리어 밀도 및 이동도가 촉진되어 음극부근에 축적되어 이중전하를 형성함에 따라 음극측의 전계분포가 왜곡되고 있다. 또한 HDPE시편의 경우 음극 측으로부터 전자

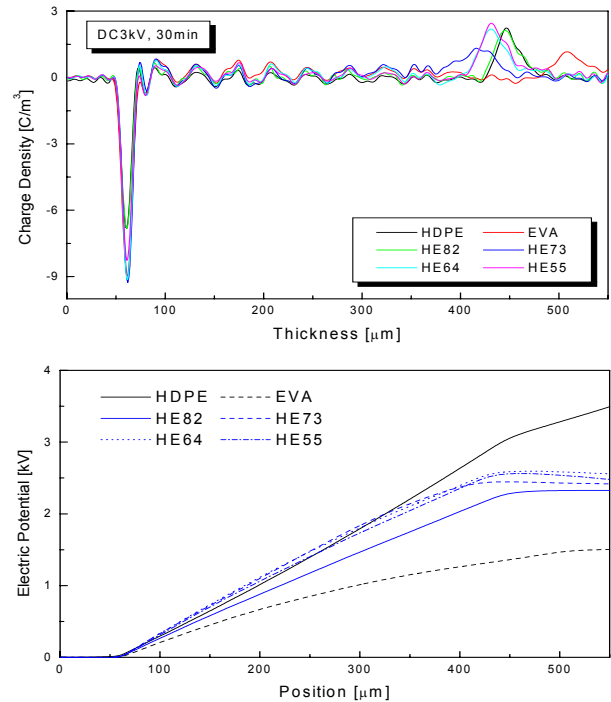


그림 8 공간전하분포, 전위분포의 인가된 시간 의존성(DC 3[kV], 30[min])

Fig. 8 Applied time dependency of space charge distribution, electric potential distribution (DC 3[kV], 30[min])

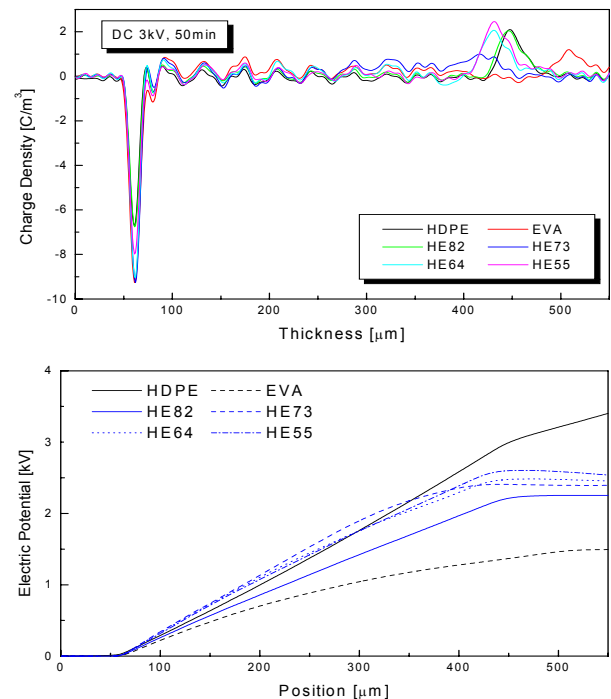


그림 9 공간전하분포, 전위분포의 인가된 시간 의존성(DC 3[kV], 50[min])

Fig. 9 Applied time dependency of space charge distribution, electric potential distribution (DC 3[kV], 50[min])

주입에 따른 부극성 캐리어의 이동이 용이하여 양극부근으로 이동하여 이중전하를 형성함에 따라 양극측의 전계를 강화하는 것으로 생각된다.

그러나 HE82시편은 시편내의 혼합된 EVA는 HDPE가 결정화(crystallization) 과정에서 핵(nucleation)으로 작용하여 구정(spherulite)생성을 조밀하게 하고, 분자쇄 말단에 도입된 극성기가 bulk내의 고차구조를 망목상으로 형성시키는 역할을 하고 있다. 따라서 이러한 밀접된 구정의 경계영역으로 전하의 소멸이 발생하여 공간전하를 저감시켰기 때문에 단일 시편에 비해 전계분포가 개선되는 것으로 사료된다.

HE73 시편의 경우 양극 측에서 주입된 정극성의 전하가 시간경과에 따라 일부는 부극성의 전하와 상쇄되고, 일부는 시편내의 저분자량의 PE 사슬의 절단, 불완전한 결정부분과 비정질사이의 계면, 제조 과정에서 개입된 미세한 불순물(탄화 수지 등) 등의 영향으로 음극 측으로 이동하는 캐리어 이동도를 촉진시켜 공간전하를 형성하므로써 음극부근의 전계를 왜곡시키는 것으로 생각된다. 그러나 전위 분포는 그림 9에서 보는 바와 같이 HDPE를 제외한 나머지 시편에 있어서 인가전압에 비해 대체로 낮게 나타났으나, 전압인가 시간에 따른 경시적 변화는 관측되지 않았다.

3. 결 론

기존 XLPE절연체는 압출, 가교, 냉각공정과 같은 복잡한 공정을 요하며, 각각의 공정에서 개입되는 보이드, 이물, 돌기, 가교반응잔유물 등과 같은 결함에 의해 장기적으로 절연 열화가 가속된다. 따라서 공간전하축적에 의한 국부적인 전계 왜곡, 상대적으로 낮은 체적저항을 및 절연과피강도 저하와 같은 불량한 직류절연성을 고려할 때 직류고전압송전용 케이블 절연체로 적용하기에는 부적합하다.

본 연구에서 기존 XLPE가 갖는 문제점을 해결하고자 공간전하밀도 및 전위 분포를 검토한 결과 제안된 혼합절연체가 직류인가전압 상승 및 시간경과에 따른 공간전하에 기인한 전계분포의 왜곡이 다른 시편에 비해 현저히 완화되는 경향을 보였다. 이것은 시편에 혼합된 EVA가 HDPE의 결정화과정에서 핵으로 작용함으로 인해 구정의 크기가 작아져서 연속상의 망상구조를 이루고, 이러한 구정의 계면영역에서 전하의 소멸이 발생하여 공간전하를 저감시켰기 때문에 단일 시편에 비해 전계분포가 개선된 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] 이흥규, 전력 케이블 절연체 적용을 위한 HDPE/EVA 혼합수지의 전기적 특성 고찰, 충북대학교 박사학위논문, 2009. 02.
 [2] K. S. Suh, "Measurements and Characteristics of Space Charge in Polyethylene", Polymer Science and Technology, Vol. 9, No. 5, pp.394-410, 1998. 10.
 [3] H. Tamura, H. Ono, M. Ikeda, Y. Yamamoto, Yoshimichi Ohki, "Properties of Polyethylene Blend as a Non-crosslinked Insulating Material for Power

Cable", IEEJ Trans. FM, Vol.24, No.9, pp.817-822, 2004.

[4] Y. Lin et al, "Space charge distribution and crystalline structure in low density polyethylene(LDPE) blended with high density polyethylene (HDPE)", Polymer International Vol.54, pp.465-470, 2005.
 [5] R.J. Fleming, M. Henriksen, and J.T. Holboll, "The influence of electrodes and conditioning on space charge accumulation in XLPE," IEEE transactions on dielectrics and electrical insulation, Vol. 7, pp. 561-571, 2000.
 [6] Hung-Kyu Lee, Byoung-Chul Kim, Seong-Hwa Kang, Chung-Ho Lee, Kee-Joe Lim, "Analysis of Electric Field Distribution formed by Space Charge in HDPE Blended with EVA", 2008 Regional Inter-University Graduate Conference on Electrical Engineering 19-21, July, Xi'an, China.

저 자 소 개



정의환 (鄭義煥)

1984년 10월 31일생. 2009년 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.
 Tel : 070-7019-3694
 Fax : 043-261-2419
 E-mail : sike6@hanmail.net



허준 (許駿)

1982년 2월 7일생. 2008년 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 정보통신공학과 졸업. 2009년 동 대학원 전기공학과 석사과정.
 Tel : 070-7019-3694
 Fax : 043-261-2419
 E-mail : phoenix_june@naver.com



윤재훈 (尹載勳)

1981년 9월 4일생. 2007년 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 전기공학과 졸업. 2009년 동 대학원 전기공학과 석사졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.
 Tel : 070-7019-3694
 Fax : 043-261-2419
 E-mail : mephsto9@naver.com



임 기 조 (林 基 祚)

1952년 5월 20일생. 1973년 한양대학교 전기공학과 졸업하고 동 대학원 전기공학과에서 공학석사, 공학박사학위를 취득. 1977년~1981년 국방과학연구소 연구원. 1981년~ 현재 충북대학교 전기공학과 교수. 연구 관심분야는 절연신소재, 전력설비 절연설계, 전력설비의 절연진단, 압전 세라믹스 및 압전 소자 개발 등.

Tel : 043-261-2424

Fax : 043-261-2419

E-mail : kjlim@cbnu.ac.kr



이 흥 규 (李 興 圭)

1967년 12월 1일생. 1995년 충주대학교 전기공학과 졸업. 1998년 충북대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2009년 동 대학원 공학박사 학위 취득. 1995년~ 현재 충주대학교 첨단과학기술대학 전기공학과 재직중. 연구 관심분야는 HVDC 절연용 고분자절연재료개발 및 절연성능 평가 등.

Tel : 043-841-5141

Fax : 043-841-5140

E-mail : hglee@cjnu.ac.kr