

지중 배전 전력케이블용 절연재료의 개발동향

서광석, 이창용*

(*고려대 공대 재료공학과 교수, **동 대학원 재료공학과 박사과정)

1. 서론

도시의 광역화 및 인구집중이 가속화되면서 환경문제와 안보, 그리고 전력의 안정적인 공급과 신뢰성의 확보라는 측면에서 전력용 케이블의 지중화는 빠르게 이루어지고 있다. 지중 배전용 전력케이블은 사용되는 절연체의 종류에 따라서 크게 유침지 절연 (Oil filled; OF) 케이블과 압출절연 (Extruded dielectric) 케이블로 나뉘어지며, 압출절연 케이블은 다시 크게 가교 폴리에틸렌 (crosslinked polyethylene; XLPE)을 절연체로 사용한 케이블과 EPR (ethylene propylene rubber)을 사용한 케이블로 분류되어진다[1, 2].

초기의 고체 절연체는 고분자량의 폴리에틸렌 (High molecular weight polyethylene; HMWPE)이 사용되었으나, 열가소성 (thermoplastic)의 물성을 가진 것이었으므로 최대 사용온도는 약 75°C로 제한되었고, 특히 사용중에 열화에 의한 사고가 빈번하게 발생하였다. 그러므로, 현재의 전력케이블에 사용되는 절연체는 열과 기계적 성질을 강화하기 위하여 가교반응(crosslinking)을 이용하고 있다. 가교반응은 사슬을 망목구조로 결합시키는 것으로 XLPE와 충진제를 혼합한 후 가교시킨 EPR을 절연체로 이용하고 있다. EPR은 제조된 조성에 따라서 물성이 변화하는 특성이 있으나, 일반적으로 100°C 이상에서는 EPR이, 이보다 낮은 온도에서는 XLPE가 더 나은 물성을 보이는 것으로 알려져 있다[2].

폴리에틸렌, 특히 XLPE는 탁월한 전기적, 기계적 특성과 유지보수의 용이성 및 경제성 등 여러가지 장점이 있으므로 해마다 그 사용량이 증가되는 추세를 보이고 있다. 그러나, 장기간 운전중 lightning impulse나 switching surge와 같은 과도전류의 인가에 따라서 절연층에 절연파괴가 발생하기도 하며, 절연파괴에 이르기 전단계에서 나무가지가 성장하는 모양의 열화현상이 발생하는 소위 트리 (tree)현상에 의하여 절연체에 치명적인 사고가 발생하게 된다. 트리가 발생한 케이블은 내구년수보다 훨씬 짧은 시간 내에 절연파괴가 발생하게 되므로 현재 미국을 비롯한 일본과 유럽에서는 기존의 절연체보다 내트리 특성을 강화시킨 절연체에 대한 수요가 증가하고 있는 실정이다. 그림 1에 나타

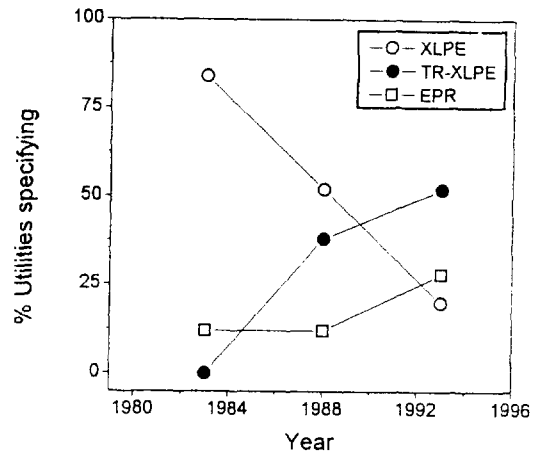


그림 1. 절연재료의 10년간 사용량 변화(2).

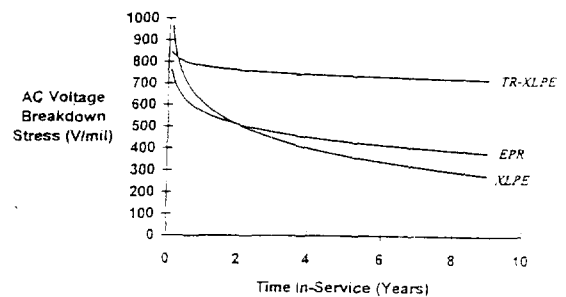


그림 2. 절연재료의 교류파괴강도의 경년변화(2).

낸 바와 같이 북미에서는 TR-XLPE (Tree retardant XLPE)가 배전급 전력케이블의 절연체의 약 52%, EPR이 약 28%를 점유하고 있으며, XLPE는 점차로 감소하고 TR-XLPE와 EPR은 증가하는 경향을 보여준다[2]. 절연체의 종류에 차이가 있기는 하지만 내트리성을 가진 절연체를 사용한다는 면에서는 일본이나 유럽의 경우도 같은 경향을 보인다. TR-XLPE의 사용의 증가는 그림 2에 나타낸 바와 같이 교류절연파괴강도가 포설후 시간의 경과에 따라서 기존의 XLPE와 EPR은 상당히 급격하게 감소하는 경향을 보인다. 그러나, TR-XLPE는 완만하게 감소하여 기존의

XLPE보다 시간의 경과에 따라서 보다 높은 파괴치를 나타낸다. 따라서 전기적 특성의 경년변화가 작아서 안정적으로 전력을 공급할 수 있으므로 케이블의 신뢰성을 크게 높여 줄 수 있는 것이다.

1970년대 초에 처음으로 XLPE를 절연체로 사용한 후 현재 국내의 배전용 전력케이블에서는 주로 XLPE를 주절연체로 사용하고 있으며, TR-XLPE는 아직 국내 배전급 케이블에는 사용되지 않고 있는 실정이다. 그러나, 외국의 경우에서 보듯이 기존의 XLPE가 트리열화현상에 의한 문제점으로 인하여 TR-XLPE의 적용으로 변화하고 있는 경향을 살펴볼 때 국내에서도 내트리성을 강화시킨 절연체의 사용이 필요할 것으로 여겨진다. 이는 사고 방지와 아울러 전력공급의 서비스를 높이는 것에도 기여할 것이다. 따라서 본 고에서는 현재 사용되고 있는 지중 배전전력케이블의 절연재료의 문제점을 살펴보고 절연과피의 전단계인 열화과정을 억제시킬 수 있는 방법과 이를 이용하여 절연성능이 향상된 새로운 절연재료를 제조하는 연구방향을 소개하고자 한다.

2. 현재재료의 문제점

XLPE는 트리현상에 의하여 절연체에 치명적인 사고가 발생하게 된다. 트리현상은 발생원인에 의하여 크게 두가지로 구분되는데 하나는 단순히 전기적 응력에 의한 전기트리이며, 다른 하나는 물과 전기적 응력의 복합적인 상호작용에 의한 수트리이다. 전기트리가 발생하면 전력케이블은 쉽게 절연과피가 발생하게 되므로, 절연체의 검사기준과 케이블의 가공공정을 개선하여 전기트리의 발생원인은 차단되어 있는 실정이다. 따라서 케이블의 경우 문제가 되는 것은 주로 수트리의 발생이다. 전기트리와 같이 급격한 파괴에 이르지 않으나 운전중의 케이블에서 수트리가 발생하는 경우, 절연과피강도가 감소되는 것으로 보고된 바가 있으며 이를 그림 3에 나타내었다. 그림에서 수트리가 발생

되는 경우 파괴치는 급격히 감소한 후 트리 길이의 증가에 따라서 점차로 감소하는 경향을 보여준다. 현재 수트리가 발생하여 전기트리로 변환되어 절연과피에 이르는 것으로 알려져 있으므로 수트리의 억제는 전기트리의 발생을 억제시켜서 결국 절연과피의 확률을 감소시키는 결과를 가져올 수 있는 것으로 여겨진다[3, 4].

지중 배전용 전력케이블의 절연과피의 주요 요인으로 알려져 있는 수트리는 그 발생원인과 성장기구가 아직 논란의 여지는 있으나 대략 기계적 요인과 전기화학적 요인으로 크게 나뉘어 진다. 기계적인 요인에 의한 수트리의 발생과 성장은 고분자의 기계적 성질이 취약한 부분에서 트리가 발생하게 되어 성장하게 된다는 것으로 미시적인 파괴현상에 의한 크랙의 전파라는 피로현상의 이론과 유사한 것이다. 그리고, 전기화학적 요인에 의한 주장은 고분자 내에 존재하는 이물질, 기공(void), 수분 등 수트리 발생요인이 XLPE 내에 극성부분으로 존재하게 되어 외부로부터 수분의 유입을 증가시켜 수트리가 발생하게 되고 절연체의 산화반응을 유도하게 된다는 주장과 외부에서 확산되어 유입된 이온성 불순물에 의하여 수트리가 발생되고 성장된다고 하는 것이다[4, 5]. 이러한 수트리의 발생요인 중 XLPE는 필수적으로 DCP를 이용한 화학 가교반응을 포함하므로, DCP에 의한 가교부산물인 void를 형성할 가능성이 높으며, 2차부산물로 수분이 생성될 수 있다는 단점을 가지고 있다. 또한 기존의 연구에 의하면 외부에서 가해지는 전기장에 의하여 재료 내에 공간전하가 축적되는 문제점도 가지고 있다. 공간전하의 축적은 부분적으로 전기장의 집중을 유발하여 결국 절연과피에 이르게 할 가능성이 높은 것으로 보고된 바가 있다[6]. 따라서, 보다 나은 신뢰성을 갖는 전력공급과 케이블 사고를 예방하기 위해서는 이와 같은 문제점을 해결하는 방향을 찾아가는 것이 합리적으로 여겨진다.

지중 전력케이블에서의 수트리현상을 억제하기 위한 노력은 크게 구조를 변경하는 방법과 절연재료를 개질하는 방법으로 나뉘어 연구되고 있다[2]. 프랑스를 중심으로 한 유럽에서 채택하고 있는 간이 차수방식(Water barrier)의 케이블은 물이 케이블 내로 침투하는 것을 방지하기 위한 차수층을 사용하는 것으로 근본적으로 물과 케이블의 접촉을 차단하는 점에서는 의의가 있는 것으로 생각된다. 그러나, 폴리에틸렌의 가교반응시 부산물로 생성되는 수분이 절연체 내에 존재하게 되며, 케이블의 제조시 들어가는 비용과 유지와 보수비용 등 경제적인 면에서는 부정적인 면을 가지고 있다. 따라서 보다 효과적으로 수트리를 억제하기 위해서는 절연재료인 XLPE를 개질하는 방법이 유리할 것으로 여겨진다.

3. 폴리에틸렌 개질의 기본 원리

3.1 재료

수트리에 의한 전력케이블의 열화 또는 절연과피를 결과론적인 측면에서 보면 수트리는 결국 폴리에틸렌이 미세과

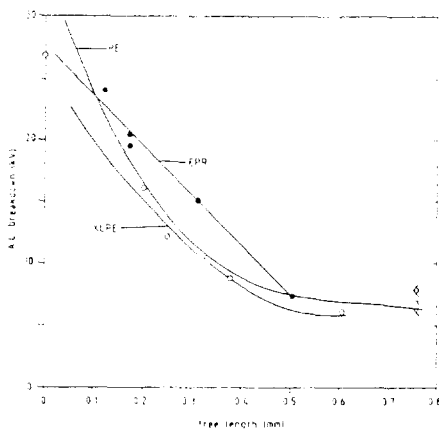


그림 3. 교류과피강도에 미치는 수트리 길이의 영향[5].

괴된다는 것이다. 이는 한번에 가해지는 에너지는 비록 약하다고 해도 오랜동안 지속적인 에너지를 받으면 재료는 미세파괴를 일으키며 이는 결국 기계적인 인성의 약화를 유발하게 된다. 미세파괴는 재료가 취약 (brittle)한 경우와 높은 결정화도에서 잘 일어나게 되므로 재료의 인성 (toughness)을 증가시키면 미세파괴에 강하게 된다. 폴리에틸렌의 결정화도를 감소시켜서 인성을 증가시키기 위해서는 폴리에틸렌에 인성이 좋은 에틸렌계 공중합체를 블렌드하거나 첨가제를 사용하여 폴리에틸렌 자체의 결정화도를 감소시키고 결정의 크기를 감소시키며 인성을 높이는 방법이 사용될 수 있을 것이다. 이미 다른 나라에서는 ethylene ethylacrylate copolymer (EEA)나 ethylene vinylacetate copolymer (EVA)를 폴리에틸렌에 블렌드하여 기존의 절연용 폴리에틸렌보다 나은 물성을 보고한 바가 있으며 상업화되어 있는 실정이다. 그리고, 이보다 한단계 더 발전된 형태의 절연용 폴리에틸렌은 위와 같은 블렌드에 제 3의 첨가제를 혼합하여 내트리성을 향상시킨 방법이다[7].

블렌딩 방법에 있어서 중요한 사실은 블렌딩 방법이 내트리성을 향상시키는 요인이 무엇이든지 간에 블렌드는 폴리에틸렌의 연속성 측면에서 보면 문제가 있는 방법이다. 즉, 블렌드에는 반드시 두 성분간에 계면이 존재하며 이 계면은 도체로부터 주입되는 전하 또는 폴리에틸렌내에서 형성되는 전하를 트랩하는 효과를 갖기 때문에 내부에 축적되는 전하량이 높다는 단점이 있고, 이 계면을 통하여 첨가제가 이동될 수 있다는 단점이 있다[8]. 이 두가지 단점은 폴리에틸렌의 신뢰도를 저하시키는 가장 중요한 요인이다. 따라서 블렌딩 방법을 사용할 경우 가장 중요한 관건은 이들 계면을 어떻게 개질하느냐에 달려 있다고 할 수 있다. 또한 계면의 개질에 있어서 가장 중요한 문제는 각 성분의 분산도가 아니라 계면에서 각 성분끼리 어느 정도의 결합력을 가져야 한다는 것이 중요하다.

또 다른 개질의 방법인 grafting 방법이나 공중합을 이용하는 것은 현재 연구단계에 있는 방법으로서 아직 보편화되어 있지는 않으나, 여러가지 측면에서 보면 최종적으로는 공중합 방법이 가장 유리한 방법으로 여겨진다. Grafting 방법은 22.9 kV급의 절연에서는 아직 상업적으로 사용되고 있지 않으나 DC절연용으로는 사용되기 시작한 것으로 보인다. 일본에서 발표된 바에 따르면 DC용 전선의 절연에 grafting 방법이 사용되었다는 연구결과가 발표된 바가 있다. 특히 154 kV이상의 초고압에서는 첨가제 자체가 불순물이 될 가능성이 있기 때문에 첨가제의 역할과 내트리성의 역할을 동시에 하는 성분이 첨가제가 아닌 공중합체로 있는 방법이 가장 유력한 방법으로 여겨진다.

3.2 물

폴리에틸렌의 절연파괴가 수트리의 발생으로부터 시작되며 수트리는 다시 물과 전압의 상호작용에 의하여 진전하는 것으로 알려져 있다. 이는 발생과 진전기구의 문제에 있어서는

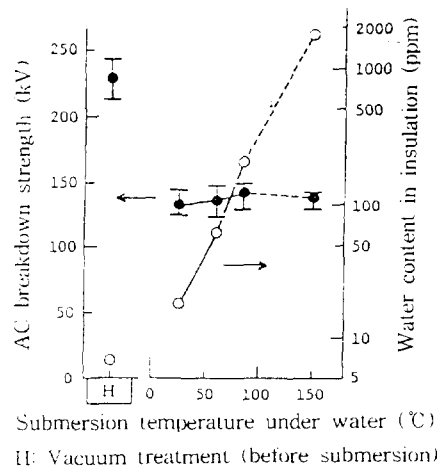


그림 4. 침수시간에 따른 XLPE의 교류파괴강도와 수분함유량(8).

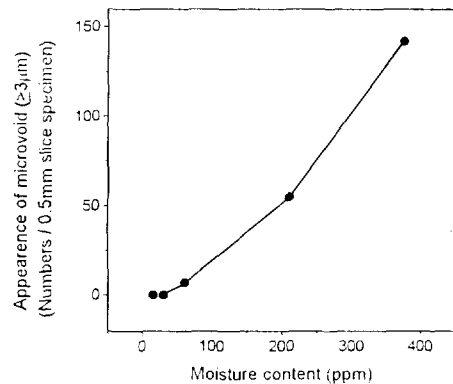


그림 5. 절연체의 미소기공수와 수분함유량의 관계(8).

논란의 여지가 있지만 일반적인 통념으로 굳어져 있는 상황이기에 때문에 이를 번복하기는 어려울 것으로 여겨진다.

최근 일본에서의 연구결과[8]에 의하면 건식가교방식으로 제조된 CV 케이블에 침수처리를 한 후 교류파괴전압을 측정하면 (그림 4), 처리하기 전의 시료에 비해 파괴치가 급격하게 감소한 후 수분의 함량이 10 - 2000 ppm 사이의 영역에서 거의 변화가 없는 것으로 발표되었다. 그러므로, 이 결과는 수십 ppm이하의 수분이 절연파괴강도의 저하를 가져오고 그 이상의 수분의 증가는 파괴치에 영향을 미치지 않는 것으로 보인다. 이런 정도의 수분은 DCP에 의한 가교반응후 부산물로 생성되는 수분에 의해서도 절연파괴강도가 저하될 수 있음을 나타내는 것이다.

또한, 침수처리를 한 시료의 미소 기공의 수를 살펴본 결과를 그림 5에 나타내었다. 그림에서 수분의 함량이 증가하면 수분의 응집으로 인한 기공의 수도 증가하는 경향을 볼 수 있으며 이런 기공으로부터 트리가 성장하는 것은 잘 알

려진 사실이다. 따라서, 수분의 역할에 있어서 가장 중요한 것은 폴리에틸렌내에 도입된 수분은 분자레벨로 존재하는 것이 아니라 물방울의 형태로 모이게 될 때 수트리의 발생에 영향을 미치게 된다는 것이다. 일단 수분이 물방울의 형태로 응집되면 이는 절연체에 소위 electrophoresis 또는 electrostriction force가 발생하므로 이는 수트리 진전의 가장 중요한 요인이 된다[5, 8]. 따라서 수분이 응집되는 현상을 억제하면 이는 결국 수트리의 진전을 억제하는 효과를 가져온다. 폴리에틸렌은 무극성의 물질이고 수분은 극성이 매우 강한 물질이기 때문에 폴리에틸렌 내에 수분이 있으면 언제나 수분끼리 응집하려는 경향이 강하다. 따라서 수분의 이동을 억제하려면 재료 내에 수분이 자유로운 상태가 아닌 속박된 상태로 존재하도록 해야 한다.

3.3 첨가제

절연용 폴리에틸렌에는 내트리성, 내열성 그리고 내전압 특성 등의 물성을 향상시키기 위하여 산화방지제를 비롯한 각종 첨가제가 함유되어 있다. 내트리성 첨가제는 작용하는 방식에 따라서 여러 가지가 있으며 이들중, 전압안정제의 종류를 표 1에 나타내었으며, 전해질 첨가제의 종류와 트리 억제효과를 표 2에 나타내었다.

전력케이블에 사용되는 폴리에틸렌에서는 혼합된 첨가제의 성능이 어느 정도 유지되는가에 따라서 재료의 성능이 어느 정도 유지되는가를 결정한다고 할 수 있다[9]. 그러나 절연체에 혼합된 첨가제는 여러 경로를 통하여 소멸된다. 예를 들어, 산화방지제가 소멸되는 경우는 대략 두가지가 있는데 첫째 가교제와의 상호작용으로 인하여 산화방지제

표 1. 절연재료에 사용되는 전압안정제.






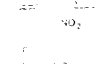

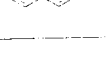
Compound	Chemical Formula	Melting Point(°C)
2-Nitrodiphenylamine		75
2,6-Dinitrotoluene		60
2,4-Dinitrodiphenylamine		157
Anthranilnitrile		51
o-Nitroanisole		10
o-Nitrodiphenyl		37
1-Fluoro-2-nitrobenzene		< 30
2-Bromonaphthalene		59

표 2. 전해질 첨가제의 혼합에 의한 수트리 억제효과(9).

Electrolyte	Quantity per 100g PE	Time to Water Tree
No additives	0	After 272 h water tree initiated
NaCl, Na ₂ SO ₄ , MgSO ₄ , NaNO ₃ , Ca(NO ₃) ₂ , CaCl ₂ , MgCl ₂ , CdSO ₄	8x10 ⁻⁵ mol	After 455 h no water tree
Na ₂ SO ₄	8x10 ⁻⁶ mol	After 455 h no water tree

의 성능을 잃는 경우가 있을 수 있고, 둘째 시간이 지남에 따라 산화방지제가 표면으로 이동하여 증발함으로써 소멸되는 경우이다. 첫째에 속하는 소멸은 산화방지제에 국한된 경우로서 1차 산화방지제는 radical scavenger로서의 역할을 하기 때문에 가교제가 열분해하여 생성된 자유 라디칼을 비활성으로 만들면서 산화방지제가 성능을 잃는다. 이를 방지하기 위해서는 산화방지제의 종류를 바꾸거나 또는 1차 산화방지제와 2차 산화방지제의 함량을 적절히 조절하는 방법 등이 사용될 수 있다. 두번째에 속하는 소멸은 모든 첨가제가 공통으로 보여주는 문제점으로서 시간이 지남에 따라서 첨가제가 시료의 표면으로 이동하고 이 첨가제가 표면에서 증발하는 경우를 말한다. 이를 해결하는 방법은 분자량이 큰 첨가제를 사용하면 첨가제의 이동을 어느 정도 억제할 수 있을 것으로 기대된다. 그러나, 보다 근본적인 해결책은 폴리에틸렌의 구조를 개선하여 자유부피(free volume)를 줄이거나 또는 블렌드의 경우 각 성분간에 존재하는 계면의 상태를 자유로운 상태에서 결합력이 있는 상태, 즉 계면에서의 상용성을 증진시킴으로써 첨가제의 이동을 억제하는 방법이 효과적일 것이다.

3.4 공간전하

수트리는 그 자체가 전력케이블을 절연과피시키는 직접적인 요인이 아니고, 수트리가 전기트리로 변환되거나 또는 수트리가 발생된 지역의 기계적, 전기적 특성이 저하됨에 따라 문제가 되는 것이다. 결국 폴리에틸렌을 절연과피시키는 주요 요인은 전기트리이므로 수트리가 전기트리로 변환되는 현상을 일으키는 원인을 차단하면 전력케이블의 절연과피를 억제시킬 수 있는 방법으로 여겨진다. 이러한 원리는 공간전하의 중요성과 연결된다. 즉 재료내에 축적되는 공간전하의 양이 많으면 많을수록 전력케이블이 절연과피를 일으킨 확률은 점점 더 높아진다고 할 수 있으므로, 가능한 한 폴리에틸렌에 축적되는 전하량을 억제해야 할 것이다[10, 11]. 이에 대한 해결방법으로는 폴리에틸렌의 구조 또는 화학적인 성질을 개선하여 공간전하의 축적을 억제할 수 있는 폴리에틸렌을 만들거나, 또는 블렌드의 경우 계면

이 중요한 전하트랩장소이므로 계면의 상태를 개선하여 전하가 축적되는 확률을 감소시키는 것이 전력케이블의 수명을 연장할 수 있는 방법이라고 생각한다. 블렌드의 경우 계면에서의 결합력을 증진시키면 계면의 공간전하 축적을 억제할 수 있는 것으로 판명되었으므로[12], 이에 대한 지속적인 연구도 필요한 것으로 여겨진다.

3.5 DCP

내열성과 기계적인 특성을 향상시키기 위하여 전력케이블의 절연체로 사용되고 있는 XLPE에는 가교반응을 위한 가교제가 혼합되어 있다. 가교제는 dicumyl peroxide (DCP)를 사용하며 열에 의하여 분해되어 라디칼을 형성한 후, 이것이 폴리에틸렌을 가교시키는 것이다. 그러나, 투입된 가교제는 모두 가교반응에 참여하는 것이 아니라 자체적으로 반응하여 가교부산물을 형성한다[13]. 이때 발생하는 가교부산물로는 acetophenon, cumyl alcohol, α -methyl styrene, H₂O 등이 있으며 가교부산물의 생성 경로를 그림 6에 나타내었다. 이러한 가교부산물은 절연체의 전기적 성질에 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며 특히, XLPE를 절연체로 한 연구에서는 가교부산물의 양에 따라서 교류절연과괴강도는 증가하나 임펄스과괴강도는 감소한다고 발표되었다[14]. 또, 가교부산물은 트리특성을 증가시켜 준다는 결과도 보고된 바가 있다[15]. 그러나, 이러한 결과들은 단기간의 실험실적 연구의 결과이므로 실제 경년 열화된 전력케이블의 결과와 일치하지 않는다는 연구도 있다. 이는 케이블 내에 존재하는 가교부산물은 운전시간의 경과에 따라서 증발되며 특히 acetophenon의 경우 제조된 직후 부산물의 함량이 300 ppm에서 2년이 경과하면 약 50 ppm으로 감소하며 8 ~ 10년이 경과한 케이블에는 거의 잔존하지 않는 것으로 보고된 바도 있다[16].

이들 가교부산물들이 전기적인 성질을 증가시키거나 감소시키거나에 관계없이 더 중요한 사실은 저분자량의 휘발성이 강한 물질들로 가교반응의 온도에서 증발되어 사라지게 되는 것이다. 이때 폴리에틸렌내에 기공을 형성할 가능성이 높으며, 실제로 이들 기공으로부터 bow-tie 트리가 발

생하는 것으로 알려져 있다[3-5]. DCP의 함량이 높으면 가교부산물의 양과 기공의 함량도 높으며 결국 수트리를 발생시킬 가능성도 크다고 할 수 있으며 실제로 이를 확인할 수 있는 연구결과가 발표된 바도 있다. 그러나, DCP의 양을 줄이는 것은 가교반응 또는 가교속도에 영향을 미칠 가능성이 높으므로 DCP 함량을 줄이는 대신 가교화를 도울 수 있는 다른 방법을 사용해야 할 것으로 여겨진다.

4. 초기 특성값과 경년변화

폴리에틸렌 개질의 근본 원리를 이용하여 내트리성을 강화시킨 폴리에틸렌을 제조한 경우 트리특성과 절연과괴강도와 같은 특성은 강화되나 초기 특성실험에서 tan δ 의 값이 기존의 XLPE보다 높은 것으로 관찰된다[17]. tan δ 는 고분자인 절연체 내에 존재하는 비결정부분에 의한 현상으로 외부에서 가해주는 전기적인 교변응력을 고분자 사슬이 즉각적으로 반응하지 못하기 때문에 소모되는 것이다. 외부의 전기적 교변응력을 따라서 거대한 고분자 사슬이 즉각적으로 변위하지 못하는 현상은 고분자 사슬에 쌍극자를 생성할 수 있는 극성기가 존재하는 경우 변화하는 전기장에서 한 방향으로 배향된 쌍극자가 반대 방향으로 용이하게 운동하지 못하기 때문에 tan δ 는 높은 값을 나타낸다. 큰 tan δ 를 가진 고분자에서 유전손실이 발생하는 경우 외부에 열에너지의 형태로 발산되므로, tan δ 가 큰 재료를 사용하는 경우 화재의 발생가능성이 높아진다[3, 9].

현재 사용되는 개질된 내트리성을 강화시킨 TR-XLPE를 비롯하여 앞절에서와 같은 방법으로 개질된 폴리에틸렌은 개질의 근본 원리가 적절한 극성기의 도입으로 인한 물의 이동을 방해하며, 전하의 축적으로 인한 부분적인 전기장의 왜곡을 막는 것이다. 따라서 도입된 극성기는 다른 전기적인 성질을 증가시키는 동시에, 초기의 tan δ 도 증가시키게 되는 것이다. 그러나, 외국의 연구에 따르면 개질된 폴리에

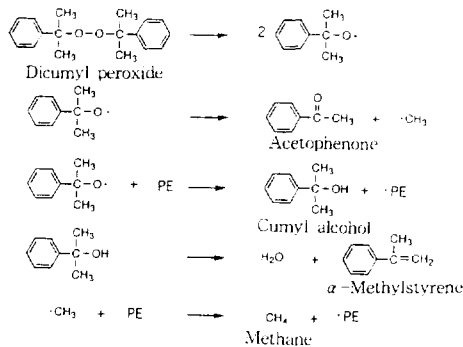


그림 6. 가교반응과 가교부산물 [13]

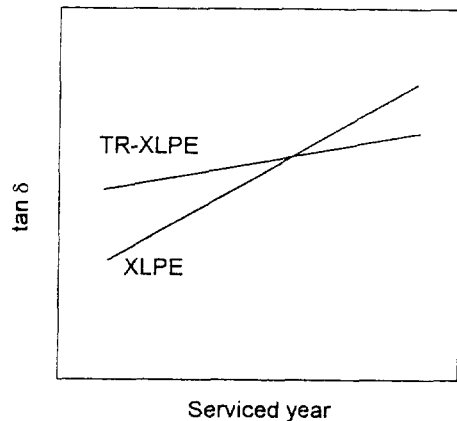


그림 7. 경년변화에 따른 TR-XLPE와 XLPE의 tan δ 의 변화.

틸렌의 초기의 유전손실은 기존의 절연용 XLPE보다 높은 것은 사실이나 그림 7에 나타낸 바와 같이 사용년수가 증가함에 따라서 XLPE는 급격하게 유전손실이 증가하게 되나 TR-XLPE의 경우에는 증가하는 속도가 완만하여 어느 정도의 기간이 경과하면 XLPE보다 낮은 유전손실을 나타내게 된다. 또한, 상업화 되어 있는 TR-XLPE의 초기 $\tan \delta$ 가 XLPE보다 높기는 하나 EPR보다는 낮은 것으로 알려져 있다. 따라서 전력케이블은 단기간이 아닌 장기간 포설되어 사용되어야 하고, 실제 케이블의 고장은 초기가 아닌 사용후 10년이상에서 발생하게 되므로 초기 특성보다는 장기특성이 더 중요한 것으로 여겨지며 우수한 장기 특성이 전력케이블의 신뢰도를 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

5. 결 론

국내에서 사용되는 지중 전력케이블의 절연체인 XLPE는 트리와 같은 열화과정에 놓여 있으며, 설계시에 보장된 기간이전에 사고가 발생하고 있다. 전력케이블에서의 열화는 수트리에 의한 현상으로 이를 방지하거나 최소한 억제해야 케이블의 신뢰도가 보장될 수 있다. 수트리 현상의 억제는 그 발생과 진전기구를 억제하는 것으로 이루어지며 절연체 내에 수분의 응집을 억제하며, 인성의 증가 증 기계적인 성질의 개선, 그리고 가교제의 함량 조절과 산화방지제 등 첨가제의 증발현상을 억제하는 방법 등이 사용될 수 있다. 또한 보다 근본적으로 폴리에틸렌을 개질시키는 즉 새로운 절연재료의 개발도 필요한 것으로 여겨진다. 현재 미국이나 일본 등 외국에서는 이미 내트리성을 가지고 있는 절연재료를 개발하여 사용하고 있으며 그 사용량은 시간이 지날수록 증가하고 있는 추세이다. 따라서 국내에서도 케이블의 구조를 개선하고 관리를 강화하는 문제와 함께 새로운 또는 개선된 절연성능을 갖는 재료의 개발에 대한 연구가 이루어져야 한다고 생각된다.

참 고 문 헌

[1] R. Bartnikas and K. D. Srivastava, *Power Cable Engineering*, Sandford Educational Press, Waterloo, Ontario, 1987.
 [2] J. H. Dudas, "Technical Trends in Medium Voltage Power Cable Specification", *IEEE Elec. Ins. Magazine*, March/April, Vol. 10, p. 7, 1994.
 [3] L. A. Dissado and J. C. Fortherrigill, *Electrical Degradation and Breakdown in Polymers*, London, Peter Peregrinus Ltd., 1992.
 [4] E. F. Steennis and F. H. Kreuger, "Water Treeing in Polyethylene Cables", *IEEE Trans. Elec. Ins.*, Vol. 25, p. 989, 1990.
 [5] M. T. Shaw and S. H. shaw, "Water Treeing in Solid Dielectrics", *IEEE Trans. Elec. Ins.*, Vol. 19, p. 419, 1984.
 [6] L. Ziyu, L. Rongsheng, W. Huiming, and L. Weibin, "Space charges and Initiation of Electrical Trees", *IEEE Trans. Elec. Ins.*, Vol. 24, p. 83, 1989.
 [7] H. Fugakawa and Y. Yasho, "Development of a New Insulation

Material for DC Cables", *Comm. BIII-2, JiCable 84*, p. 283, 1984.
 [8] IEEE Technical Report, Vol. 488, Jan. 1994.
 [9] C. C. Ku and R. Liepins, *Electrical Properties of Polymers: Chemical Principles*, Munich-Vienna-New York, Hanser Publishers, 1987.
 [10] C. R. Lee, O. Kim, M. K. Lee, and K. S. Suh, "Control of Space Charge in Polyethylene by Chemical Modification", *1996 CEIDP*, San Francisco, USA, p. 133, 1996.
 [11] K. S. Suh, D. Damon and J. Tanaka, "Space Charge in Polyethylene/Ionomer Blends", *IEEE Trans. Diel. Elec. Ins.*, Vol. 2, p. 1, 1995.
 [12] K. S. Suh, J. Y. Kim, H. S. Noh, and C. R. Lee, "Interfacial Charge in Polyethylene / Ethylene Vinylacetate Laminates", *IEEE Trans. Diel. Electr. Ins.*, Vol. 3, p. 758, 1996.
 [13] K. S. Suh, S. J. Hwang, J. S. Noh and T. Takada, "Effects of Constituents of XLPE on the Formation of Space Charge", *IEEE Trans. Diel. Elec. Ins.*, Vol. 1, p. 1077, 1994.
 [14] R. M. Eichhom, *IEEE Underground Trans. Conf.*, p. 282, 1972.
 [15] D. H. Damon, S. J. Huang and J. F. Johnson, *1990 Ann. Rpt. CEIDP*, p. 398, 1990.
 [16] M. A. Martin and R. A. Hartlein, *IEEE Trans. Power Apparatus and System*, PAS-99, p. 1597, 1980.
 [17] E. Ildstad and H. Faremo, "Water Treeing and Diagnostic Testing and Different XLPE Cable Insulations", *8th International Symposium on High Voltage Engineering*, Japan, p. 91, 1993.

저 자 소 개



서광석(徐光錫)

1954년 3월 6일생. 1978년 고려대 공대 재료공학과 졸업. 1982년 동 대학원 재료공학과 졸업(석사). 1987년 미국 코네티컷 주립대학 고분자 전공(공학). 1987년~88년 미국 MIT 고전압연구실(Post-Doc). 현재 고려대 공대 재료공학과 교수. 당 학회 편집위원.



이창용(李昌龍)

1967년 8월 17일생. 1990년 고려대 공대 재료공학과 졸업. 1992년 동 대학원 재료공학과 졸업(석사). 현재 고려대 대학원 재료공학과 박사과정.