

지중배전케이블의 절연진단



한재홍

전력연구원 전력계통연구실
배전자동화그룹 선임연구원



김상준

전력연구원 전력계통연구실
배전자동화그룹장

1. 서 론

도심지역에서의 전력수요가 급증함에 따라 공공의 안전과 미관을 위해 70년대 이후로 송배전선을 지중화하고 있으며, 현재 국내에서 가장 많이 사용되는 지중배전용 전력케이블은 22.9 kV 동심중선선 전력케이블 (CN/CV 케이블)이다. 전력케이블은 절연을 목적으로 고분자재료인 가교폴리에틸렌 (crosslinked polyethylene:

XLPE)을 사용하며, 전계완화를 위하여 절연층 내외부에 반도체층을 사용하고 있다.

고분자재료를 사용하는 전력케이블은 생산공정이 간단하여 경제적이고 고장 발생시 보수가 용이하다는 장점이 있지만, 경년에 따라 절연성능이 약화되어 결국에는 절연파괴를 유발하므로 전력케이블의 고장을 일으킨다. 최근 전력케이블을 포설한 다음 10년 전후로 고장이 급증하고 있으며, 따라서 고장을 방지하기 위해서는 고장이 일어나기 전에 전력케이블의 절연상태를 진단하는 일이 매우 중요하다. 이를 위해서는 케이블을 활선상태에서 측정하는 활선열화진단 방법이 개발되어야 한다.

하지만 지금까지 전력케이블의 절연진단에 관한 연구로는 거의 대부분이 고전압 인가시의 직류누설전류나 전압감쇄 측정에만 국한되어 왔다.

그러나 국내의 지중배전 시스템은 다중접지 방식을 채택하고 있어 접지로부터 유입되는 잡음의 크기가 측정하려는 신호보다 크기 때문에 전기적 신호를 측정하여 지중배전케이블을 진단한다는 것은 현 기술로는 매우 어려운 상태이다. 이는 국내뿐만 아니라 다중접지 방식을 채택하고 있는 거의 모든 국가에서 공통적으로 겪고 있는 어려움이다.

이러한 이유 때문에 복미를 중심으로 한 선진국가에서는 지중배전케이블의 열화상태를 진단하기

위하여 전기적 방법 이외에 화학적, 물리적, 미세구조적 분석방법을 응용한 새로운 방법을 사용하고 있다¹⁾. 이 방법의 원리는 고분자 절연재료에 기계적, 전기적 또는 환경적 외부요인이 가해질 경우 고분자의 구조가 변하게 되어 결국은 전기적 특성에 영향을 미친다는 사실에 기초한 것이다. 즉, 고분자 특성분석을 통하여 열화와 연결될 수 있는 특성을 파악한 다음 전력케이블의 열화판정과 관련된 전기적 특성과의 연관성을 찾는 방법이다.

이 방법은 매우 복잡한 고분자 분석방법을 동원해야 하는 불편함이 있지만 매우 유익한 방법으로 평가되고 있다. 그 이유로는 전기적 방법은 단말처리 또는 주변환경에 의해 측정치가 너무 영향을 받기 때문에 심지어 측정된 수치 의 신뢰성부터 의심되는 경우가 많을 정도로 불확실하다. 이에 반하여 고분자 특성분석 방법은 열화요인이 종류에 상관없이 재료의 특성을 변화시키므로 재료의 특성 변화만 정확하게 파악하면 전력케이블의 열화정도를 알 수 있으며, 이를 전기적 특성과 잘 연결시키면 잔존수명까지도 예측이 가능하다.

전력케이블의 열화상태를 판정하기 위해서는 케이블 이력, 중성선 부식정도, 반도체층의 체적고유저항, 불순물 및 보이드의 밀도와 크기, 고장빈도 등에 관한 사항을 기본적으로 알아야 한다. 또

표 1. 고분자 특성분석 방법

(1) Analysis of properties		
Thermal properties DSC/DTA TGA DMA TMA	Mechanical properties Tensile properties Creep Dynamic mechanical Impact properties	Electrical properties Electrical conduction Breakdown, dielectric loss Space charge profiling Treeing, TSC Electroluminescence, etc.
(2) Analysis of structure, morphology and component		
Structure/morphology FTIR NMR UV/Vis X-ray SEM/TEM ESCA Density Crystallinity Crosslinking	Component analysis Chromatography LC, GPC, GC, Ion TGA ICP AA Moisture analysis FTIR UV/Vis	
(3) Surface analysis		
FTIR ESCA		
(4) Depth profiling		
Slicing FTIR		

한 절연층 및 반도체층의 건전성을 평가하여 종합적으로 판단해야 한다.

본 고에서는 전력케이블의 절연 진단에 응용할 수 있는 고분자 특성분석 기법을 소개하였으며, 최근 고장이 발생한 약 40여종의 지중배전케이블에 대한 특성분석 결과를 바탕으로 국내 지중배전케이블의 열화 및 수명인자에 대하여 언급하고자 한다²⁾.

2. 고분자 특성분석 기법

고분자 특성분석 방법은 표 1에

보여지는 것처럼 매우 다양하며, 통상 한 가지 방법이 아니라 여러 가지 방법을 사용하여 결과를 얻은 다음, 이를 종합적으로 판단하여 재료의 특성을 파악한다.

(1) 열 특성

열적 성질은 고분자재료에 열을 가할 때 고분자가 반응하는 것을 의미하며, 열 특성을 측정하는데 가장 많이 사용되는 것이 시차주사열량기(DSC: Differential Scanning Calorimetry)이다. DSC를 사용하면 유리전이온도, 용융온도 등의 전이온도와 열용량, 밀도, 결정화도, 산

화유도시간(oxidation induction time: OIT) 등을 측정할 수 있다. 그 중에서도 특히 폴리에틸렌의 경우 산화유도시간이 재료의 산화방지능력 및 산화정도를 판정하는데 매우 중요한 역할을 한다.

고분자의 산화는 소위 preferential oxidation 반응이라고 부르기도 하는데, 이는 고분자 사슬중 화학적으로 약한 부분, 즉 불포화 탄화수소 결합을 하거나 또는 분지(branching)가 있는 경우 이들 자리들은 포화된 결합자리에 비하여 월등히 빨리 산화된다³⁾. 따라서 산화유도시간을 분석하면 전력케이블

절연층의 열화정도를 판단할 수 있으며, 산화유도시간이 산화방지제 잔류량과 밀접한 관련이 있으므로 두 인자간의 상관성을 잘 이용하면 잔존수명의 예측에도 응용할 수 있다.

(2) 화학구조 분석

고분자의 구조분석에 있어서 가장 보편적으로 사용하는 것이 적외선분광기 (FTIR: Fourier Transform Infrared Spectrophotometer)이다. 이는 적외선을 이용하여 적외선 에너지에 해당하는 고분자 사슬의 운동을 측정하는 방법이다.

고분자 절연재료에서 가장 중요한 화학구조변화는 산화반응에 의한 구조변화이고 이 구조변화에 의한 영향을 가장 크게 받는 고분자 절연재료가 폴리에틸렌이다. 이 산화반응은 폴리에틸렌이 전력케이블의 절연재료로서 사용되는 동안에 높은 온도에서 운전되고 이때 주변의 산소 또는 폴리에틸렌내에 들어 있는 molecular level의 산소에 의하여 시작된다. 단순한 산화반응은 폴리에틸렌 사슬내에 극성기가 도입되는 점 이외에는 재료의 특성을 크게 저하시키지는 않는 것으로 알려져 있다. 오히려 초기에는 일부 전기적 성질을 향상시킬 수도 있다⁴⁾. 실제로 일부 연구 결과를 보면 폴리에틸렌이 약간 산화된 경우에는 처녀시료에 비하여 절연파괴강도가 오히려 증가한다는 연구결과가 보고된 바 있으며, 또한 전기전도성의 경우 산화가 약간 일어났을 경우에는 산화에 의하여 생긴 카보닐기가 전자트랩 장소로 작용하는 반면 산화가 많이 일어난 경우에는 전자의 이동을 돕는 호핑자리 역할을 하거나 또는 전자주입을 돕는 것으로 보고된 바 있다⁵⁾. 이들 결과는 폴리에틸렌에서 산화가 상당량 진전되기 전에는 산화반응 자체는 폴리에틸렌의 전기적 특성을 약화

시킨다고 단정할 수 없다는 것을 의미한다.

산화가 진행되면 폴리에틸렌 사슬이 짧게 끊어지는 소위 사슬절단 (chain scission) 현상이 일어나 폴리에틸렌의 분자량은 줄어들게 되고 따라서 폴리에틸렌은 극심한 열화과정을 거치게 된다. 결국 폴리에틸렌의 경우 산화 자체가 큰 문제가 되는 것이 아니라 산화반응에 의하여 생성되는 2차반응물, 즉 저분자량화 및 이중결합 및 수분의 생성이 큰 문제가 되는 것이다.

폴리에틸렌을 포함한 모든 고분자의 산화는 아무 곳에서나 산소만 있으면 진행되는 것이 아니라 고분자 사슬 내에서 약한 부분부터 산화되기 시작한다. 폴리에틸렌은 완벽한 경우 탄소-탄소가 일중결합을 하고 공유결합력이 매우 강하기 때문에 산화반응이 잘 안 일어난다. 그러나 폴리에틸렌은 중합과정중 어쩔 수 없이 화학결합이 생긴다. 이들 중에서 이중결합 또는 삼중결합 등이 산화반응에 약한 부위로서, 이 주위에 어느 정도의 온도가 유지되고 산소가 있으면 거의 예외 없이 산화반응을 일으킨다. 일단 산화반응이 일어나면 이 부분에서 계속적인 화학반응이 일어나 결국에는 사슬절단이 일어나고 이 지점은 다시 약한 부분이 된다. 이러한 과정을 반복하면서 폴리에틸렌은 계속 산화에 의한 열화를 일으킨다.

폴리에틸렌의 분석에 있어서 단순한 카보닐 (carbonyl)기의 측정은 물론 그 자체로도 의미가 있기는 하지만 전체적인 산화에 의한 열화과정을 완전히 이해하기에는 부족하므로 카보닐기 생성과 함께 다른 화학결합도 함께 측정하여 종합적으로 평가하는 것이 바람직하다.

폴리에틸렌이 산화되면 수산화기, 카보닐기 및 불포화이중결합 등이 생긴다. 여기에서 수산화기는 3500 cm^{-1} 부근의 넓은 피크를, 카보닐기

는 1700 cm^{-1} 영역의 피크를, 그리고 불포화이중결합은 900 cm^{-1} 부근의 피크를 이용하여 확인한다. 산화반응의 확인 및 산화기구의 연구에는 카보닐기와 불포화이중결합이 주로 사용된다. 1700 cm^{-1} 부근에서는 카보닐기의 주변환경에 따라 무수히 많은 피크가 나타날 수 있다는 점에 유의해야 한다.

이와 같이 적외선분광기를 이용하여 산화반응을 분석하면 단순히 산화가 일어났다는 사실 이외에도 산화가 일어나게 된 주변여건에 대한 정보를 얻을 수 있다.

(3) 가교도 분석

절연체의 가교도는 전력케이블의 특성을 좌우하는 중요한 요소중의 하나로서 가교도의 증가는 곧 기계적 특성의 증가로 이어진다. 또한 가교도가 높을 경우 각종 열화반응에 대한 저항성이 증가하며 반대로 가교도의 감소는 곧 거의 모든 특성의 감소를 의미하기도 한다. 따라서 전력케이블에 있어서 항상 일정 수준 이상, 일반적으로 80% 이상의 가교도를 유지해야 한다.

전력케이블 절연체는 저밀도폴리에틸렌 (LDPE: low density polyethylene)을 화학가교제로 가교시킨 가교폴리에틸렌을 사용한다. 이때 가교화란 선형 고분자의 사슬과 사슬 사이를 화학가교제로서 화학결합을 이루는 반응으로서 고분자사슬을 3차원 망목구조가 되도록 한다. 이와 같이 3차원 망목구조가 되면 고분자의 기계적 강도 및 열안정성이 증가하고 용매 (solvent)에 용해되지 않는 특성이 있다.

전력케이블용 절연재료로 사용되는 폴리에틸렌의 가교는 XLPE 펠렛내에 혼합되어 있는 화학가교제가 가교관을 통과하는 동안 열분해되어 반응기 (radical)가 생성되고 이 반응기를 통하여 폴리에틸렌은 가교된다. 그러나 모든 반응기가 가

교반응에 참여하는 것이 아니고 일부분의 반응기는 자체적으로 반응하여 acetophenone, cumyl alcohol 또는 CH₄ 등의 1차 가교부산물물을 만들고 이들이 계속 반응하여 α -methylstyrene, H₂O, cumene 등의 2차 가교부산물물을 만든다⁴⁾.

이들 가교부산물의 영향에 대하여는 아직도 논란의 대상이 되고 있는데, 현재까지는 가교부산물 때문에 XLPE의 절연과피강도가 LDPE의 절연과피강도보다 낮으며 또한 bow-tie tree의 농도가 가교제 함량에 비례한다고 알려져 있다. 따라서 되도록 가교부산물의 농도를 낮추는 것이 XLPE의 수명연장을 위하여 유리하다.

(4) 수분 분석

전력케이블의 주요 열화요인으로 알려져 있는 수트리는 절연층내로 수분이 유입되는 그 자체가 수트리의 시작이라고 할 수 있을 정도로 수분과 밀접히 관련되어 있다. 전력케이블내에 존재하는 수분의 함량은 수분함량 측정기 또는 FTIR을 이용하여 측정할 수 있다.

전력케이블내에 존재하는 수분은 전력케이블의 수명에 직접적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있으므로 전력케이블내에 수분이 형성되는 경로를 정확히 아는 것은 중요하다.

전력케이블내에 수분이 형성되는 경로는 가교반응중에 생기거나, 케이블 제조방식에 의하여 유입되는 경우 또는 사용 도중 외부로부터 유입되는 경우가 있으며, 절연체내에 형성된 수분의 형태는 분자수준(molecular level)으로 분산되어 있는 수분과 drop 형태로 응집되어 있는 수분 등이 있다.

전력케이블 내에 수분이 형성되는 경로를 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 전력케이블의 절연층은 반도체 전층 및 외피로 감싸져 있다. 반도체

전층은 에틸렌계 고분자에 전도성 카본블랙이 들어 있는 컴파운드로서 기본수지 자체가 극성을 띠고 있으며 카본블랙 자체가 흡습성이 매우 높은 충전제이므로 반도체전층은 수분흡수율이 매우 높다고 할 수 있다. 또한 일반적인 외피는 PVC에 다량의 가소제가 들어 있는데, 이들 각 성분들도 극성을 띠고 있어 극성이 매우 높은 수분과의 친화력이 좋으므로 수분흡수율이 좋다고 할 수 있다. 따라서 전력케이블 주변에 수분이 존재하는 한 외피와 반도체전층을 통하여 절연층으로 유입될 가능성이 매우 높다. 둘째, 전력케이블은 제조공법상 가교과정이 있는데, 종래에는 스틱가교 방식을 사용하였다. 스틱가교시 약 1000 ppm 정도의 수분이 절연층으로 침투되는 것으로 알려져 있으나 최근에는 고압 질소가스를 이용한 건식가교 방식을 채택하고 있으므로 가교방식에 의하여 수분이 형성되는 것은 어느 정도 억제되었다고 할 수 있다. 셋째, 전력케이블용 XLPE의 화학가교제로 사용되는 dicumyl peroxide (DCP)는 열분해에 의하여 radical을 형성하고 이 radical이 가교반응을 일으키도록 되어 있다. 전술한 바와 같이 가교부산물로 수분이 발생할 수 있으나, 그 함량은 그다지 큰 것이 아니다. 그러나 전력케이블의 사용 중에 외부로부터 유입되는 수분은 그 함량이 상당히 높은 수준까지도 가능하므로 이를 최대한 억제해야 한다.

위에서 언급한 바와 같이 전력케이블의 절연층 내로 침투된 수분이 수트리 열화의 근본원인이므로 이를 최대한 억제해야 한다. 여기에서 중요한 사항은 단순한 수분의 유입만이 문제가 되는 것이 아니라 수분에 섞여 있는 각종 이온성 불순물들도 수분과 함께 절연층으로 유입되고 이들이 결국 수트리 전진의 원인이 된다는 사실이다⁶⁾. 그러나

수분유입을 억제하면 결국 수분에 섞여 있는 이온의 유입을 억제하는 결과를 가져오므로 수분유입의 억제는 여러 가지 면에 있어서 중요한 과제라고 할 수 있다.

(5) 수축 현상

압출방식을 사용하는 전력케이블은 제조시 압출방향으로 배향되어 있기 때문에 일정한 조건이 되면 수축하게 되어 있다. 케이블 제조시 선속이 빠를수록 배향이 많이 되므로 수축율은 높아진다. Medium voltage 케이블에서는 수축율에 대한 규격이 없으나 매우 빠른 속도로 압출하는 통신용 케이블에서는 skin test라고 하는 수축을 시험을 거치게 되어 있다. 전력케이블에는 비록 수축율에 대한 규격은 없으나 전력케이블의 피복층이 수축된다는 것은 전력케이블의 수명에 결정적인 영향을 미칠 가능성이 크므로 수축의 원인과 영향 및 수축율의 측정방법 등에 대한 고찰이 필요하다.

만약 전력케이블의 피복층이 과도하게 수축되면 이는 주로 케이블의 끝단에서 금속도체가 겹으로 나오는 형상이 되는데, 이때 joint 부분에 큰 문제를 야기할 수 있다. 즉, joint와 케이블 사이에서 slip 현상이 일어날 가능성이 매우 높으며, 만일 slip 현상이 발생하면 이 부분의 접합은 매우 허술하게 된다. HV CV 케이블에서는 shrink-back 현상, 즉 수축현상에 대한 연구가 어느 정도 이루어지고 있으나, 22.9 kV급의 medium voltage CV 케이블의 수축에 대하여는 많은 연구가 이루어지지 않고 있는 것으로 보인다. 그러나 지중선 MV CV 케이블에서도 HV CV 케이블에서와 마찬가지로 shrink-back 현상이 문제를 야기할 수 있을 것으로 생각한다.

(6) 불순물 분석

전력케이블내에 들어 있는 이물질은 bow-tie tree의 주요 원인으로 작용하며 특히 물속에 녹아 있는 Ca 또는 K 등의 이온성 불순물은 수트리를 성장시키는 요인으로 작용한다. 이와 같이 이물질은 수트리 발생 및 성장에 관여하여 간접적으로 절연파괴를 일으키는 요인으로 작용하거나 또는 직접적인 절연파괴의 요인으로 작용하기 때문에 원료업체로부터 전선제조업체 및 사용자에게 이르기까지 이물질 관리가 중요하다. 또한 전력케이블의 반도전층과 절연층 사이에 돌출물(protrusion)이 있는데, 이는 트리발생 나아가서 전력케이블 절연파괴의 주원인으로 작용한다.

절연층내에 들어 있는 이물질의 종류 및 함량은 여러 가지 방법으로 측정할 수 있으나, 주로 사용하는 것은 ICP (Inductively Coupled Plasma) 방법이다. 이 방법은 주로 무기질 불순물의 정성 및 정량분석에 사용되는 방법으로서 습식방법과 병행하여 사용한다. 시료내에 들어 있는 불순물을 강산(strong acid)을 이용하여 녹여 낸 후 이를 ICP 장치를 이용하여 정성 및 정량 분석하는 방법이다. 폴리에틸렌의 경우 일정량의 시료(약 10 g 정도)가 좋으나 그 이하도 가능함을 취하여 이를 태우거나 또는 강산에 분해시키는 작업에 시간이 많이 소요된다. 그러나 최근에 microwave를 이용하여 짧은 시간내에 시료를 준비할 수 있는 장치가 개발되어 앞으로는 많이 이용될 수 있을 것으로 기대된다. 반면 유기 불순물의 분석은 주로 Ion chromatography 방법을 사용한다.

3. 지중배전케이블의 열화 및 수명인자

최근 운전도중 고장이 발생한

40여종의 경년케이블과 신폼케이블을 대상으로 고분자 특성분석을 실시한 결과 국내 지중배전케이블의 열화 및 수명인자는 제조사의 결합과 밀접한 관련이 있는 것으로 판명되었다.

(1) 절연층 특성

전력케이블의 절연층 특성은 지중배전케이블을 비롯한 모든 케이블의 열화 및 수명을 좌우하는 가장 중요한 요소이다. 특성분석을 통해 나타난 가장 중요한 열화/수명인자는 최대 수트리길이, 가교도, 산화유도시간, 산화방지제 잔류량, 보이드 등이었으며, 절연파괴강도를 비롯한 거의 모든 전기적 특성은 이들 요인에 의하여 직·간접적으로 영향을 받는다.

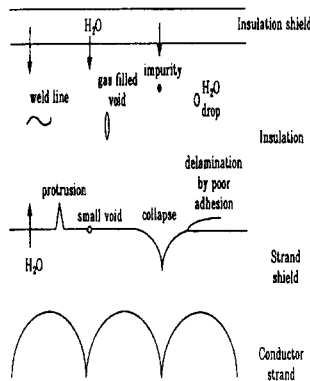


그림 1. 전력케이블의 대표적인 결합

수트리는 수분과 전계의 복합작용으로 발생하여 전력케이블에서 절연파괴가 나타나게 하며⁷⁾, 가교도는 전력케이블의 열적, 전기적 저항성과 관련된 인자로 전력케이블 수명에 큰 영향을 미친다. 또한 산화방지제 잔류량이나 산화유도시간은 산화현상과 관련이 있으며, 케이블이 산화가 일어나게 되면 전기적 특성이 매우 크게 저하

된다.

그림 1은 전력케이블 내부에 존재하는 대표적인 결함을 나타낸 것이다.

(2) 반도전층 특성

반도전층 특성분석을 통하여 확인된 국내 지중배전케이블의 열화 및 수명인자는 반도전층내에 들어 있는 불순물 농도와 체적고유저항인 것으로 밝혀졌다. 반도전층내에 들어 있는 불순물은 케이블 제조 당시에는 큰 영향을 미치지 못하나 장시간 지중에서 운전될 때 시간이 지남에 따라 절연층, 특히 반도전층과 절연층간 계면에 심각한 열화를 유발하여 결국에는 케이블의 조기파괴의 한 원인이 된다.

국내 케이블에 대한 분석결과, 반도전층내 불순물은 내부반도전층보다는 외부반도전층에서 더욱 심각한 것으로 밝혀졌다. 외부반도전층의 경우 약 15,000 ppm에 이르는 높은 함량의 불순물이 있는 반면 내부반도전층에는 수 천 ppm 정도의 불순물이 들어 있는 것으로 밝혀졌다. 이와 같은 사실은 내부반도전층의 경우 도체와 접촉하면서 케이블의 특성에 큰 영향을 미칠 수 있으므로 비교적 고품질의 재료를 사용하는 것으로 생각되나, 외부반도전층의 경우에는 다소 저질의 재료를 사용해도 문제가 없을 것이라는 생각에서 불순물 함량이 높은 재료를 사용하는 것으로 보인다.

또한 내부반도전층에서 체적고유저항이 규정치를 벗어나는 경우가 종종 발견되었다. 내부반도전층의 체적고유저항이 $\infty \Omega \cdot m$ 값을 보인다는 것은 내부반도전층의 본래 목적인 전계완화 역할을 충실히 수행하지 못함을 의미한다. 이와 같이 반도전층의 저항이 너무 높을 경우 낮은 부하에서는

별 문제가 없겠으나 높은 부하에 견디지 못하는 문제점이 발생된다.

(3) 계면 특성

전력케이블에는 다양한 종류의 계면이 존재하지만, 그 중에서도 절연층/반도전층의 계면이 전력케이블 특성에 큰 영향을 미친다.

최근 이러한 계면에 대한 관심이 높아지면서 반도체층의 평활성(smoothness)이 강조되고 있다. 특히 내부반도전층과 절연층의 계면에서 압축도체 표면을 따라 발생하는 굴곡(convolution)이나 돌기는 전계를 집중시키는 역할을 하므로 제조시 유의해야 하며, 그림 2는 전력케이블에서 발생하는 내의 돌기 및 indentation을 나타내며, 표 2는 국내와 국외의 돌기 제한치를 비교한 것이다^{8), 9)}.

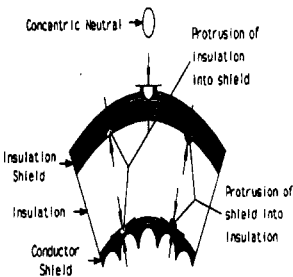


그림 2. 전력케이블내의 돌기 및 indentation

4. 결 론

본 논문에서는 전력케이블의 절

표 2. 국내와 AEIC의 돌기 제한치

돌기의 크기	국 내	국 외
돌기 (내부반도전→절연층)	250 μm	76 μm
돌기 (절연층→내부반도전)		180 μm
돌기 (외부반도전→절연층)	없음	130 μm
돌기 (절연층→외부반도전)		130 μm

연진단에 사용할 수 있는 고분자 특성분석 방법을 소개하였으며, 국내 지중배전케이블의 열화 및 수명인자에 대해서도 기술하였다.

지중배전케이블의 절연 진단을 위해서는 활선열화진단 방법을 개발하는 것이 가장 이상적이기는 하지만, 현재로서는 매우 어려운 실정에 있다. 따라서 고분자 특성 분석 기법을 이용하여 전력케이블의 절연진단을 하는 것은 타당성이 있는 것으로 판단되며, 특성분석 결과와 전기적 특성의 연관성을 면밀히 검토한다면 잔존수명의 예측까지도 가능하리라 판단된다.

참 고 문 헌

1. EPRI Reports: EL-5387 (RP 1782-1), EL-6207 (RP 7897-2), EL-7076s (RP 7897-1)
2. "배전케이블 수명예측 기준결정 및 열화진단 시스템 구축", 전력연구원 (TR.95YJ16.L. 199787), 1991.
3. B. Baum, "The Mechanism of Polyethylene Oxidation", *J. Appl. Polym. Sci.*, Vol 2, pp 281-288, 1959.

4. K. Kircher, *Chemical Reaction in Plastics Processing*, Hanser Publisher, Munich, pp. 207-210, 1987.
5. Y. Suzuoki et al., "Study of Space Charge in Polyethylene During Oxidation", *IEEE Trans. Electr. Insul.*, EI-26, pp. 1073-1079, 1991.
6. M. J. Given, R. A. Fouracre and B. H. Crichton, "The Role of Ions in the Mechanism of Water Tree Growth", *IEEE Trans. Electr. Insul.*, Vol. 22, pp. 151-156, 1987.
7. J. J. Xu and S. Boggs, "The Chemical Nature of Water Treeing: Theories and Evidence", *IEEE Insulation Magazine*, Vol. 10, pp. 29-37, 1994.
8. "22.9 kV 동심중성선 전력케이블", 한국전력 ESB 126-640~647, 1995.
9. "Specification For Crosslinked Polyethylene Insulated Shielded Power Cables Rated 5 Through 46 kV", AEIC CS5-94, 1994.

< 이준호 위원 > < 김정태 위원 >