

고신뢰 지중 배전케이블 개발방향

송일근 · 김주용 · 이재봉 <한전전력연구원 배전기술센터>

1 서 론

지중 배전케이블 (이하 전력케이블)은 중요 수용가에 전력을 공급하는 기자재로서 산업발전과 환경친화적 가 점점 강조되면서 적용이 증가하는 추세이다. 2001년 현재 배전선로는 전체선로에서 지중선로가 8.9% (15,247 C·km)를 점유하고 있으며, 지중화 사업이 많이 진행된 서울의 경우에는 약 50%에 육박하는 지중화율을 보이고 있다. 이러한 지중선로는 가 공선로에 비해 공사비가 10배 이상 소요되며, 고장발 생시 복구에 많은 시간과 비용이 소요되기 때문에 전 력회사의 주요 관심대상이 되고 있다[1].

현재 사용중인 전력케이블은 운전환경에 의한 열화 가속으로 인해 기대수명보다 조기에 고장이 발생하고 있다. 고장의 주요원인으로는 외상 고장을 제외하면 수분침투와 반도전층/절연층 계면불량에 의한 것으로 분석되고 있다[2]. 따라서 이러한 유형의 고장을 방지하기 위해서는 현재의 전력케이블에 대한 철저한 분석과 대책마련이 요구된다.

그 동안 국내에서도 지중 전력케이블과 관련된 연구가 있어 왔으나, 주로 수명예측 및 진단기법 개발에 관한 것이었다. 지난 연구를 통해 트리억제형 케이블 (tree retardant cable)이 개발되었고, 또한 케이블 구매시방서의 내용이 강화된 것은 사실이다. 하지만

트리억제형 케이블도 절연층의 재질만 바뀐 것이기 때문에 현재와 같은 PVC (poly vinyl chloride) 외 피 및 케이블 구조로는 완벽하게 수분침투를 억제하 기 곤란하다. 또한 구매시방서의 강화에 의해 어느 정 도 전력케이블 품질향상이 가능하겠지만 반도전층/ 절연층 계면의 평활도 (smoothness) 개선에는 한계 가 있다. 실제로 최근의 고장에서 계면문제는 중요한 이슈로 부각되고 있는 실정이다.

이와 같은 전력케이블의 현안문제를 본질적으로 개 선하기 위해서는 재질 및 구조에 대한 연구가 필수적 이다. 따라서 본 고에서는 지중 전력케이블의 절연성 능 향상을 위한 개발방향에 대해 언급하고자 한다.

2. 절연 열화인자

고분자를 절연층 재료로 사용하는 전력케이블은 특 성상 경년에 따라 절연성능이 저하할 수밖에 없다. 그러나 국내에서 발생하고 있는 고장의 대부분은 상 기에 언급한 바와 같이 크게 두 가지 원인에 의한 것 으로 분석되고 있다. 첫째는 전력케이블로의 수분침 투에 의한 것이다. 수분이 전력케이블로 침투하는 방 향은 크게 MD (machine direction) 방향과 TD (transverse direction) 방향으로 나눌 수 있다. TD 방향으로 수분침투는 매우 서서히 진행되지만 전

력케이블에서의 수분침투가 확산과정에 의존한다는 점에서 매우 중요하다[3]. 현재와 같이 PVC (polyvinyl chloride)를 외피로 사용하는 경우에는 PVC가 극성기를 가진 재질이기에 때문에 궁극적으로 수분침투를 억제하기는 곤란하다[4]. 한편 MD 방향으로의 수분침투는 도체 또는 중성선의 빈 공간을 통해서 일어날 수 있는데, 현재의 케이블 구조가 도체는 컴파운드 또는 powder로 채워져 있고 중성선의 상하에 부풀음 테이프가 있기 때문에 MD 방향으로의 수밀은 크게 문제가 되지 않을 것으로 판단된다. 이러한 사실로부터 전력케이블을 원래의 기대수명까지 운전하기 위해서는 수밀에 대한 재질적, 구조적 검토가 수반되어야 한다.

두 번째로 전력케이블의 주요 고장요인은 절연층/반도전층 계면의 불규칙 현상에 의한 전계집중이다. 전력케이블은 절연층으로 가교폴리에틸렌 (XLPE: crosslinked polyethylene)을 사용하고 있으며, 전계완화를 목적으로 내외부에 반도전층을 적용하고 있다. 이 중에서도 내부반도전층은 도체와 직접 접촉하게 되며, 압축 도체의 빈 공간을 채워서 전계완화와 부분방전을 억제해준다. 최근에 발생하고 있는 계면 불규칙 현상은 주로 돌기 (protrusion) 결함으로써 국부적인 전계를 집중시키기 때문에 전력케이블을 조기에 고장나게 하고 있다. 이러한 계면 문제는 제조업체에서의 품질관리 공정에서 일부 해결할 수 있지만, 결국에는 절연층/반도전층 계면의 평활도를 높이는 방향으로 재질이 개선되어야 할 것이다.

2.1 수분침투

수분은 케이블 절연층에서 수트리를 형성하기 때문에 케이블의 성능과 수명에 중대한 영향을 미치는 것으로 잘 알려져 있다. 절연층으로의 수분침투를 가장 보편적이고 효과적으로 억제할 수 있는 방법이 고분

자 외피를 사용하는 것이다. 외피는 실제적으로 케이블의 장기적인 전기특성을 향상시키며, 수명을 연장해주는 역할을 한다. 심지어 EPRI에서는 LLDPE (linear low density polyethylene) 재질의 외피를 사용하게 되면 케이블의 수명을 5년 정도 증가시킬 수 있다고 발표한 바 있다[4].

이러한 케이블 수명연장 효과를 알아보기 위하여 IREQ에서는 외피를 가진 케이블과 외피가 없는 케이블을 대상으로 시험을 실시하였다[5]. 수분이 중요한 열화인자이기 때문에 절연층의 수분함량과 수명 사이에는 상관성이 있을 것으로 예상된다. 외피의 존재가 일정한 부하조건에서 외부로부터의 수분침투를 억제한다는 것은 분명한 사실이다.

이들이 연구에서 사용한 케이블은 표 1과 같다. 모두 28[kV]급 케이블이며, 도체 단면적은 380 mm²의 Al이다. 케이블 A, B, C는 사용하지 않은 건식이교의 시료이며, 케이블 D는 현장에서 14년간 열화된 습식이교 시료이다. 케이블 A와 B는 트리억제형 가교폴리에틸렌 (이하 TRXLPE)으로 절연되었으며, 케이블 B는 반도전성의 LLDPE 외피를 갖고 있다. 반면 케이블 C와 D는 XLPE로 절연되어 있으며, 외피가 없는 케이블이다.

표 1. IREQ 시험에서의 케이블 제원

케이블	A	B	C	D
운전년수 (년)	0	0	0	14
공칭전압 (kV)	28	28	28	28
도체	Al	Al	Al	Al
내부 반도전층	SS	SS	conventional	conventional
절연 및 두께	TRXLPE, 7.1 mm	TRXLPE, 7.1 mm	XLPE, 7.1 mm	XLPE, 7.1 mm
외부 반도전층	extra clean	extra clean	conventional	conventional
외피	없음	LLDPE	없음	없음
가교	건식	건식	건식	습식

절연층으로의 수분침투를 연구하기 위하여 4[m] 길이의 케이블 시료를 “U”자 형태로 하여 수조에 담그었으며, 도체에는 수분이 채워지지 않았다. 14.4[kV]의 전압을 항상 인가하였으며, 8시간 on, 16시간 off의 방법으로 전류를 흘려 케이블을 가열하였다. 이때 도체의 최대 온도는 90℃로 고정하였다.

케이블 시료를 시간에 따라 수조에서 철거하여 수분함량을 측정하였으며, 측정용 시료는 각 케이블의 중간부분에서 7×7×15[mm]의 크기로 취하여 오차를 최소화하였다. 그림 1은 열주기에 따른 외피있는 TRXLPE 케이블과 외피없는 TRXLPE 케이블에서의 절연층 수분함량을 나타낸다. 외피의 영향은 분명하게 나타나는데, 50주기 후 외피가 있는 케이블은 수분함량이 약 200 ppm에 이르지만, 외피가 없는 경우에는 900 ppm에 도달한다. 600주기 이상에서는 외피가 있는 케이블의 경우 약 500 ppm 정도에서 포화화 나타나지만, 외피가 없는 경우에는 1900 ppm 이상으로 계속 증가함을 알 수 있다. 이러한 차이는 분명히 외피가 수분침투를 억제하기 때문이다.

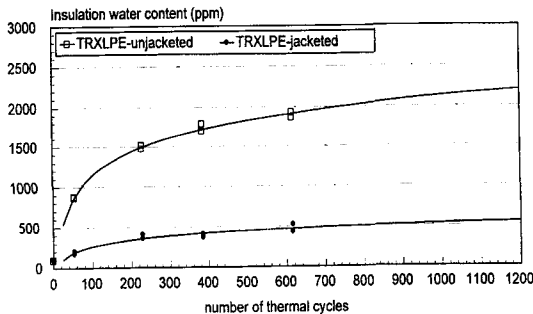


그림 1. 열화시험시 외피 유무에 따른 TRXLPE 절연층에서의 수분함량

이러한 결과를 외삽 (extrapolation)해보면 외피가 있는 케이블의 수분함량은 13년에 상당하는 4800 주기에서 외피없는 케이블과 2800 ppm에서 만난다. 외피가 있는 케이블의 외삽에서 마지막 3개의 데이터

만 사용하게 되면 31년에 3200 ppm에서 외피가 없는 케이블과 만나게 된다. 물론 정확한 결과를 얻기 위해서는 더 많은 데이터가 필요하기는 하다. 이러한 결과로부터 LLDPE 외피의 사용은 절연층으로 유입된 수분이 포화에 이르기까지 적어도 10년 정도는 수분을 억제하는 것으로 나타났다.

2.2 계면 전계집중

케이블의 절연층과 반도체층 계면에서 존재하는 결합은 케이블 수명에 직접적인 영향을 미치며, 조기고장을 일으키는 원인으로 작용한다고 잘 알려져 있다. 특히 그 중에서도 도체를 감싸고 있는 내부반도체층은 높은 성능이 요구되는 재료이다.

현재 전력케이블에 사용되는 반도체재료는 크게 두 가지의 부류로 구분할 수 있다. 하나는 furnace 블락을 사용하여 제조한 “conventional semicon (CS)”이며, 다른 하나는 주로 HV/EHV에 사용되는 것으로 아세틸렌 블락을 적용한 “supersmooth semicon (SS)”이다. SS 반도체재료는 CS 반도체재료에 비해 평활도 및 청결도 면에서 탁월하다.

SS 반도체재료는 1985년경에 처음 도입되었으며, 1990년에 상용화되었다. 현재 미국과 캐나다에서는 내부반도체층으로 SS 반도체재료를 MV에 50%, HV/EHV에 100%까지 사용하고 있다. 유럽에서도 유사한 시기에 적용을 시작하여 현재까지 사용하고 있다.

SS 반도체재료는 EC (extra clean)로도 표현되는데, 조성이 청결하고 이물질이 거의 없음을 의미한다. 만약 전도성 있는 입자 이물질이 존재한다면 국부적인 전계집중을 유발할 수 있다. 이러한 이물질에는 촉매 잔류물, 카본블랙 찌꺼기, 제조 중에 유입된 금속 등이 있다. 문제가 되는 경우는 수분침투가 억제되지 않는 케이블 구조에서 수분침투로 인해 수용성의 이온이 절연층으로 이동하는 것이다. 따라서 이러한 구조의 케

이블에서는 SS 반도체재료를 사용하는 것이 유용하다.

한편 내부반도전층과 절연층 계면에서 평활성은 전력케이블의 열화억제 면에서 가장 중요한 변수의 하나이다. 계면에서의 결합은 전기적 스트레스 증가를 유발하는데, 여기에는 두 가지 요소가 있다. 하나는 정전기학에서 유도된 기하학적 형태에 의한 스트레스이고, 또 하나는 결합 근처에의 공간전하 축적에 의한 스트레스이다. 기하학적 효과는 잘 알려져 있으나, 공간전하의 기여는 연구가 아직도 진행되고 있다(6).

전형적인 반도체 결합은 2층의 전계집중 인자(stress enhancement factor)를 갖는 것으로 알려져 있지만, 날카로운 tip 또는 edge 결합은 10~100층의 스트레스 인자를 가질 수 있다. 전계집중은 날카로운 tip 반경을 가진 계면결합에서 더욱 커진다. 일본 500(kV) XLPE 케이블에서 핵심 디자인 기준은 반도체 돌기의 크기를 50(μm) 이하로 관리하는 것이다.

이러한 계면 평활도의 영향은 케이블 수명시험(ACLT: accelerated cable life test)에서 잘 나타난다. 표 2에서 나타난 바와 같이 케이블 수명은 계면 평활도에 크게 의존한다. 시험에서 내부반도전층은 모두 아세틸렌 블랙으로 만들어진 것이며, 단지 변수는 평활도에서만 차이가 있는 케이블이다(7).

표 2. ACLT 90℃/4U0(34.6 kV)로 가속한 케이블의 수명시험 결과

	케이블 수명 (days)				
	AB-1	AB-2	AB-3	AB-4	AB-5
내부반도전층					
F10%	142	121	109	37	63
F63%	377	279	228	177	141
F90%	542	382	299	319	191
	평활도 (돌기 수/m ²)				
20 μm 이상	2	5	8	27	97

3. 전력케이블 적용현황 및 특성비교

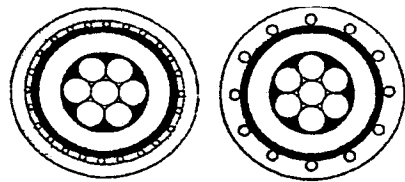
3.1 적용현황

국내에 적합한 지중 전력케이블을 개발하기 위해서는 국외 전력회사의 케이블 적용현황 및 운용전략을 조사하는 것이 필요하다. 표 3은 북미지역 및 유럽지역의 전력회사 규격에 대해 조사한 내용을 요약한 것이다(1). 표에서 알 수 있는 것처럼 공통적인 특징은 계면 불규칙 현상을 억제하기 위하여 내부반도전층에 SS급 반도체재료를 적용하는 것이 일반화되고 있다는 점이고, 외피 재료로 기존 PVC보다는 폴리올레핀(polyolefin) 재질을 거의 사용하고 있다. 반면 케이블 절연층 재료로는 북미지역의 경우 TRXLPE를 주로 사용지만, 유럽의 경우는 일반 XLPE를 사용하고 있다. 또한 케이블 구조 측면에서도 그림 2와 같이 북미는 encapsulating 구조를 적용하고 있고, 유럽은 laminate 구조를 많이 적용하고 있다.

표 3. 국가별 지중 케이블의 재질 및 구조

국가	국 내	유 럽	북 미
내부반도전층	CS	CS 또는 SS	SS
절 연 층	XLPE	XLPE	TRXLPE
외부반도전층	CS	CS 또는 SS	CS 또는 SS
외 피	PVC	MDPE 또는 LLDPE	LLDPE
구 조	overlying	laminare 또는 overlying	encapsulating

*MDPE (medium density polyethylene)



(a) overlying (b) encapsulating

그림 2. 전력케이블 구조

상기와 같이 북미지역과 유럽지역의 전력회사가 다른 형태의 케이블을 적용하는 것은 케이블 운용전략이 다르기 때문인 것으로 판단된다. 북미지역에서는 케이블에 수분이 유입될 수밖에 없다고 생각하여 수트리에 강한 TRXLPE를 절연층 재료로 대부분 적용하고 있다. 이와 같은 사실은 지중선로의 약 60% 이상을 직매 포설하는 방식과도 밀접한 관련이 있는 것으로 보인다. 전력케이블에서 약 70% 이상을 TRXLPE가 점유하고 있으며, encapsulating 외피 구조를 선호하는 것으로 조사되었다.

반면 유럽지역에서는 케이블 절연층으로의 수분유입이 문제가 되므로 케이블 자체를 완전히 치수화 하는 것이 경제적이라고 판단하고 있다. 따라서 laminate 구조의 케이블을 채택하고 있으며, 수분유입이 없기 때문에 일반 XLPE를 적용하고 있다. 또한 수트리 발생이 어려운 구조이기 때문에 케이블 절연층의 두께를 약 4 mm까지 감소시키려는 연구를 진행하고 있다.

3.2 케이블별 특성비교

국내, 북미 및 유럽지역의 전력케이블별 장단점을 분석해보면 다음과 같다. 우선 국내에서 가장 많이 사용하고 있는 CNCV-W 케이블은 일반 XLPE 절연층, CS 반도체층 및 PVC 외피를 사용하고 있다. 이러한 케이블은 수분침투 저항성이 취약하고, 계면 불규칙 발생 가능성이 높다.

한편 최근 국내에 도입되어 적용이 증가하고 있는 TR CNCV-W는 수트리에 강한 TRXLPE를 절연층 재료를 채용하기 때문에 수트리 저항성이 우수하다. 또한 제조공정에서도 기존 CNCV-W 케이블과 절연층 재료만 다르기 때문에 문제가 거의 없는 것으로 보고되고 있다. 하지만 수분침투에 취약한 PVC 외피를 사용하기 때문에 수트리 성장이 촉진될 가능성이 있으며, 돌기와 같은 계면불규칙 현상을 방지할 수 없기

때문에 조기고장의 가능성도 상존한다. 또한 TRXLPE가 국내에서 개발이 시도되고 있지만, 아직까지 케이블 형태로 평가되지는 못하고 있다. 따라서 현재까지는 국외의 컴파운드 회사에 의존할 수밖에 없으며, 기존 XLPE보다 원가가 7% 정도 높은 것으로 조사되고 있다. 일부 전력회사에서는 TRXLPE와 외부 반도체층의 박리강도가 매우 높아서 접속작업이 다소 어렵다는 보고도 발표한 바 있으나, 최근 이 부분에 대한 연구를 통해 박리강도 문제가 개선된 것으로 알려지고 있다.

유럽지역에서 많이 사용하고 있는 laminate 케이블은 외피 하단에 알루미늄 재질의 금속 laminate가 들어 있기 때문에 완벽한 치수가 가능하며, 따라서 수트리 및 열화에 대한 저항성이 우수한 것으로 알려져 있다. 또한 기존 CNCV-W 제조공정에서 알루미늄 호일을 씌우는 공정만 추가되기 때문에 제조가 어렵지 않다. 이러한 기술은 현재 국내에서 한국통신공사의 통신케이블에 적용되고 있다. 일반적으로 금속 laminate에는 층간의 접착을 위하여 copolymer가 코팅 처리되어 있다. 케이블 제조공정에서 이러한 금속 laminate는 외피 압출시의 열에 의해 laminate가 중첩되는 부분 (overlap)에서 접착이 얻어지게 된다. 따라서 laminate 층간의 접착이 매우 중요한 요인이 되며, 만약 이부분에서 박리 (delamination)가 발생한다면 이 구조의 장점이 소멸될 수 있다. 알루미늄 호일이 추가되므로 기존 케이블보다 약 4%의 원가상승이 예상된다.

한편 북미지역에서 많이 사용하는 encapsulating 케이블은 중성선이 외피 내부에 포함되어 있는 구조이기 때문에 중성선 부식을 억제할 수 있고, 외피 재료로 폴리올레핀을 적용하므로 PVC 외피보다는 수분침투 억제에 도움이 된다. 하지만 국내에서 거의 적용하지 않던 구조이기 때문에 약간의 어려움이 예상된다. 우선 제조공정의 면에서 중성선 소선의 간격을

일정하게 유지하면서 외피를 압출해야 하기 때문에 어려움이 예상된다. 또한 압출시 압력으로 중성선에 의한 외부반도전층 눌림 현상도 발생할 수 있다. 따라서 북미지역에서는 외부반도전층의 두께를 기존 0.5 [mm]에서 약 1.5[mm]로 증가시켜 제조하고 있다. 이러한 케이블은 접속작업에서도 중성선 소선을 외피로부터 빼내야 하는 문제가 있으므로 시공성 저하가 우려된다. 전술한 바와 같이 전력케이블에서 수분침투가 확산에 의해 일어나기 때문에 완전 차수가 곤란하다. 구조가 단순해지는 장점이 있어서 원가는 2% 정도로 약간 상승할 것이다.

상기에서 케이블별 장단점에 언급한 것을 요약한 것이 표 4이며, 여기에서 각 케이블별 원가는 기존 CNCV-W 케이블을 기준으로 계산한 것이다.

표 4. 케이블별 특성 요약

구 분	TR CNCV-W	lamine 케이블	encapsulating 케이블
제조 편의성	○	○	△
케이블 원가	△ (7%↑)	△ (4%↑)	○ (2%↑)
외피 차수 성능	×	○	△
수트리 저항성	○	○	△
시공 편의성	○	○	○
(외피 박리)			
시공 편의성	△	○	○
(외도 박리)			
국외 적용경험	有 (북미)	有 (유럽)	有 (북미)

용해야 한다. 이러한 점은 국외 전력회사의 적용현황에서도 뚜렷하게 나타나고 있다. 한 가지 외피에서 고려해야 할 사항은 PVC에서 폴리올레핀으로 변경될 경우 나타날 수 있는 난연성 저하의 문제이다. 하지만 PVC와 동등 이상의 난연성을 갖는 폴리올레핀 컴파운드가 공급이 가능하기 때문에 해결이 가능하다.

또한 절연층 재료의 선정에 있어서는 laminate 케이블과 같이 완전차수 구조를 갖는 경우에는 일반 XLPE를 사용해도 무방하겠지만, 케이블 절연층으로의 수분침투가 케이블 접속과정 등에서도 나타날 수 있기 때문에 TRXLPE를 적용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

한편 케이블 구조의 측면에서는 시공성에서 laminate 케이블 및 encapsulating 케이블이 모두 문제가 없는 것으로 조사되었기 때문에 단순한 구조인 encapsulating 외피가 적합할 것으로 판단된다. Laminate 케이블의 경우에는 차수성능은 물론 뛰어나지만, 다음과 같은 문제점이 예상된다. 접속부 등에서의 수분침투 가능성이 있기 때문에 완전차수가 될 수 없고, laminate 추가에 따라 전기적 문제를 고려할 필요성이 있다. 또한 중첩부의 장기적인 접착성 문제와 굴곡부에서의 laminate 박리 등이 문제로 제기되고 있다.

상기와 같은 세부검토를 통해 국내 상황에 가장 적합한 신규 전력케이블 개발방향이 그림 3에 나와 있다. 또한 표 5는 기존 케이블과의 특성을 비교한 것이다.

4. 고신뢰 전력케이블 개발방향

전술한 바와 같이 국내 전력케이블의 절연성능을 향상시키기 위해서는 케이블의 구조 및 재질을 개선할 필요성이 있다. 우선 재질 측면에서 SS급의 내부반도전층을 적용하는 것이 바람직하며, 외피로는 수분침투 저항성 및 기계적 특성이 우수한 폴리올레핀을 사

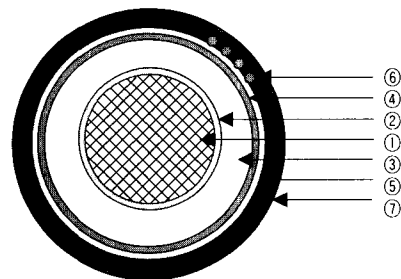


그림 3. 신규 전력케이블 개발방향

〈그림 3 설명〉

No	항 목	재 료
1	도 체	수밀 컴파운드 충전 원형압축 연동연선
2	내부반도전층	Supersmooth 반도체 컴파운드
3	절 연 층	트리억제형 가교폴리에틸렌 컴파운드
4	외부반도전층	흑색 반도체 열경화성 컴파운드
5	중성선 수밀층	반도전성 부풀음 테이프
6	중 성 선	연동선 (Encapsulating)
7	충 실 외 피	난연성 PE 계열

표 5. 기존 및 신규 전력케이블의 특성비교

구 분	기존 케이블		신규 케이블	비 고
	수밀형	트리 억제형		
케 이 블 원 가	○	△ (7%↑)	△ (9%↑)	수밀형 케이블 대비
외피 차수성능	×	×	△	(∴) radial 방향 차수
중성선 차수성능	△	△	○	
수트리 저항성	×	○	○	
현 장 시 공 성	○	○	○	전용공구 사용시
난 연 성 능	○	○	○	난연성 PE

5. 결 론

본 고에서는 전력케이블의 절연성능을 향상시키기 위해 국내 전력케이블의 주요 고장원인, 국외 전력회사의 기술규격 및 적용현황 등을 조사하였으며, 케이블별 특성비교를 실시하여 국내에 적합한 전력케이블 개발방향에 대해 고찰하였다. 현재 한국전력공사에서는 이러한 신규 전력케이블을 제조하여 기존 케이블

과의 특성 및 수명에 대해 비교평가를 수행 중에 있으며, 향후 신뢰성이 입증될 경우 현장적용이 크게 증가할 것으로 예상하고 있다.

참 고 문 헌

- [1] 한재홍, 김동명, 김주용, 송일근, "지중 배전케이블의 절연성능 향상에 관한 연구(TM.00PC02.M2001.451)", 한전전력연구원 연구과제 중간보고서, p. 3, 2001.
- [2] 설규환, "2000년 지중고장 분석 및 대책", 한전 서울지역본부, pp. 10, 2001.
- [3] W. S. M. Geurts, R. Ross, M. G. M. Mengers, E. F. Steenis, "Moisture Penetration in XLPE and PILC Cables", Proc. of Jicable'99, p. 353, Versailles, France, 1999.
- [4] G. Graham and S. Szaniszlo, "Insulating and Semiconductive Jackets for Medium and High Voltage Underground Power Cable Applications", IEEE Trans. Electr. Insul., Magazine, Vol. 11, p. 5, 1995.
- [5] S. Pelissou and S. St-Antoine, "Water Penetration in the insulation of medium voltage cables", Proc. of Jicable'99, p. 364, Versailles, France, 1999.
- [6] Y. Zhang, J. Lewiner, N. Hampton, "Evidence of Strong Relation Between Space-charge Buildup and Breakdown in Cable Insulation", IEEE Trans. DEI, Vol. 3, p. 778, 1996.
- [7] R. Lyle and J. W. Kirkland, "An Accelerated Life Test for Evaluating Power Cable Insulation", IEEE Trans. PAS, Vol. 100, p. 3764, 1981.

◇ 저 자 소 개 ◇



송 일 근(宋一근)

1984년 숭실대 전기공학과 졸업(학사).
1986년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1985년-현재, 전력연구원 배전기술센터 활선진단팀 P/L. 관심분야: 배전설비 수명진단 및 열화진단기술. Tel : 042-865-5920. E-mail : iksong@kepri.re.kr.



김 주 용(金周勇)

1969년 9월 27일생. 1992년 경북대학교 전기공학과 공학사. 1994년 경북대학교 전기공학과 공학석사. 2002년 현재 경북대학교 전기공학과 박사수료. 1994년-현재 한전전력연구원 배전기술센터 선임연구원. Tel : 042-865-5923. E-mail : kimjy@kepri.re.kr



이 재 봉(李載奉)

1971년 1월 17일생. 1993년 전남대학교 전기공학과 공학사. 1995년 전남대학교 전기공학과 공학석사. 현재 전남대학교 재료공학과 박사과정 수료. 1995년-현재 한전전력연구원 배전기술센터 선임보연구원. Tel : 042-865-5925. E-mail : jblee@kepri.re.kr