

**400 kV급 반합성지 전력케이블 및 접속함 개발**

연복희\*, 김동욱\*, 김정년\*, 김성윤\*, 이상진\*, 김종수\*\*, 이인호\*\*, 임철현\*\*  
 \*LS전선 기술개발본부, \*\*LS전선 전력사업부

**Development of 400 kV Oil-filled Power Cable and Joints Insulated with Polypropylene Laminated Paper**

B. H. Youn\*, D. W. Kim\*, J. N. Kim\*, S. J. Lee\*, J. S. Kim\*\*, H. Y. Shin\*\*, I. H. Lee\*\*, C. H. Lim\*\*, W.K. Park\*  
 \*R&D Center LS Cable Ltd., \*\*Electric Power Division, LS Cable Ltd.

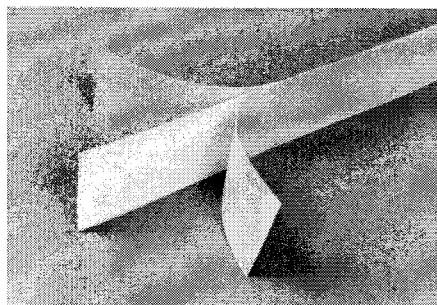
**Abstract** - 송전전압이 점차 초고압화되면서 절연체의 유전특성을 개선하여 송전용량을 향상시키고, 절연내력을 높여 케이블 외경을 저감시키려는 시도에 따라 우수한 유전특성 및 절연내력을 갖는 폴리머 절연층과 기계적 특성, 절연유와의 적합성이 우수한 크라프트지의 장점을 혼합시킨 반합성지가 개발되어 전력케이블의 주절연재료로 사용되고 있다. 본 논문은 LS전선이 국내최초로 개발한 400 kV급 반합성지 전력케이블 및 접속함 개발과정 및 이와 관련된 요소기술에 대해 기술하였다. 송전시스템에서 요구되는 유전특성의 반합성지를 설계 제작하여, 기존 크라프트 절연지 대비 유전손실은 50% 수준, 절연내력은 125%이상의 반합성지를 개발하였고, 반합성지 고유의 특성인 팽윤율을 조절하여 케이블을 제조하였다. 반합성지 절연 케이블에 필요한 접속함에서는 보강절연재로 케이블과 동일한 반합성지를 사용하여 전체적인 크기를 감소시키고, 열저항성을 줄이고자 노력하였다. 또한, 접속함 조립공정에 필요한 저온연공법을 개발하여 반합성지에 열적 스트레스를 최소화하였다. 상기 관련기술의 개발 결과로, IEC 60141, AEIC CS2-97 및 NGTS 3.5.1에 근거하여 400 kV급 반합성지 OF 케이블 및 접속함에 대해 국제 공인기관인 KEMA로부터 Type Test를 인증받았다.

**1. 서 론**

경제성장과 국민의식의 수준향상 등으로 전력수요에 대한 증가 때문에 송전전압이 점차 초고압화되면서 지중케이블에 대한 관련기술이 급속도로 발전하고 있다. 더불어 에너지 자원의 효율적 사용 관점이 부각되어 지중송전케이블에서 나타나는 전력손실 중, 송전전압의 제곱에 비례하는 유전체 손실에 대한 고려가 이루어져 왔다. 따라서, 절연체의 유전특성을 개선하여 송전용량을 향상시키고, 절연내력을 높여 케이블 외경을 저감시키는 요구에 따라 우수한 유전특성 및 절연내력을 갖는 폴리머 절연층과 기계적 특성, 절연유와의 적합성이 우수한 크라프트지의 장점을 혼합시킨 반합성지가 개발되어 사용되고 있다[1-4].

반합성지는 그림 1에 나타낸 바와 같이 양쪽의 크라프트 절연지 사이에 폴리머 절연층을 압출하여 제조한 절연재료로서 기존의 일반 크라프트 절연재료에 비하여 손실계수( $\tan\delta$ )가 약 50% 미만의 수준이며, 절연내력은 상용주파 및 충격전압에 대해 약 120% 이상의 특성을 가지고 있다. 유전체 손실계수의 저감에 따라서 정전용량 및 손실각을 줄여 전체적인 유전체 손실을 감소시키고, 결과적으로 송전용량을 증가시킬 수 있게 된다. 또한, 절연내력이 높은 절연재료를 사용함으로써 케이블의 절연두께를 줄이고, 급속 쉬스 외경을 줄일 수 있어 전체적인 케이블 사이즈를 대폭적으로 감소시킬 수 있다. 이는 운반단위의 케이블 길이를 증가시킬 수 있으며, 선로 공사 중에서 접속함 접속함의 수를 줄일 수 있어 보다 송전 계통의 신뢰성을 높일 수 있게 된다[1].

위와 같은 이점을 이용하여 선진국에서는 500 kV급 반합성지 케이블 및 접속함을 이미 개발·운용 상태이며, 이를 이용하여 UHV(Ultra High voltage)에 대한 적용검토가 이루어지고 있고, 관련기술을 이용한 해저케이블도 적용사례가 발표되고 있다.[2] 하지만, 국내에서는 반합성지에 대한 기본적인 특성 검토 및 케이블 포설이 과



<그림 1> 반합성지의 구성 (Kraft/PP/Kraft)

거에 검토된 바는 있으나 실용화되지 않아 관련기술이 매우 미비한 실정이다[2].

본 논문에서는 LS전선이 최근 국내 최초로 개발한 반합성지 400 kV급 전력케이블 및 접속함 개발과정을 소개하고 이와 관련된 요소 기술에 대해 기술하였다.

**2. 본 론**

**2.1 반합성지의 설계 및 특성평가**

반합성지의 유전특성은 포설하고자하는 전력시스템의 요구성능에 따라 허용전류 및 송전손실 등을 고려하여 결정하여야 한다. 본 개발 목표는 손실계수가  $2.7 \times 0.1\%$ 를 만족하는 PPLP (polypropylene laminated paper)로 선정하였다. 위 성능을 만족하기 위하여 전체 절연지의 두께에서 폴리머 층의 비율을 나타내는 폴리머(PP) 비율 및 반합성지를 구성하는 크라프트지의 종류 및 조합구성을 개발하였고, 당사고유의 상표 KPK<sup>®</sup>로 등록하였다.

**2.1.1 PP 비율선정**

반합성지의 전체 두께에서 PP 필름의 비율은 아래의 식 (1) 또는 식 (2)으로 표현되며, 중량으로부터 구해지는 식(k)과 평균두께에서 구해지는 값(k')으로 표시한다.

반합성지의 경우 k와 k'간의 관계는 실험적으로 식 (3)으로 표시되고, 각각의 PP비율과  $\tan\delta$ 와의 관계는 식 (4)와 (5)로 표시될 수 있다. 여기에서, 첨자 T는 반합성지 전체를 뜻하며, C는 크라프트 절연지, P는 폴리프로필렌을 의미한다. 아래의 수식을 이용하여 개발목표를 달성하기 위해서는 0.5 - 0.6범위의 폴리머비율을 갖는 반합성지로 제조해야 한다.

$$k = \frac{\text{PP 필름두께(중량환산치)}}{\text{PPLP 전체두께}} \quad \text{-----} \quad (1)$$

$$k' = \frac{(\text{PPLP 전체두께}) - (\text{크라프트지두께})}{\text{PPLP 전체두께}} \quad \text{-----} \quad (2)$$

$$k = 0.82 k' + 0.17 \quad \text{-----} \quad (3)$$

$$\epsilon_T = \frac{\epsilon_c}{1 + (\epsilon_c/\epsilon_p - 1) \cdot k} \quad \text{-----} \quad (4)$$

$$\tan\delta_T = \frac{(1-k)\tan\delta_c + \epsilon_c/\epsilon_p \cdot \tan\delta_p}{1 + (\epsilon_c/\epsilon_p - 1) \cdot k} \quad \text{-----} \quad (5)$$

**2.1.2 반합성지의 구성**

조합하는 크라프트지는 경제성을 고려하여 범용의 26, 34 및 45  $\mu$ 의 저밀도 절연지를 선정하였다. 이러한 크라프트 절연지를 사용하여 폴리머 비율을 55%로 조절하여 표 1과 같은 반합성지를 구성하였으며, 케이블의 제조시 내측에는 전기적 강도가 높은 얇은 절연지를, 외층에는 기계적 강도가 높은 두꺼운 절연지를 사용하게 하였고, 접속함의 경우, 공정상의 편의성을 고려하여 단일 두께의 반합성지를 사용하도록 설계하였다.

**표 1. 400 kV급 반합성지 케이블용 KPK<sup>®</sup> 절연지의 구성**

종류	구성	종이두께 ( $\mu$ )	KPK 두께 ( $\mu$ )	공칭두께 ( $\mu$ )
KPK <sup>3</sup> -100	26/PP/26	52	98.2	100
KPK <sup>3</sup> -125	34/PP/34	68	128.3	125
KPK <sup>3</sup> -170	45/PP/45	90	169.8	170

### 2.1.3 KPK<sup>®</sup> 특성평가

위와 같이 설계된 절연지를 제작하여 유전특성 및 절연내력 뿐만 아니라 요구되는 각종 물성을 측정하였다. 유전특성은 KPK<sup>®</sup> 절연지의 유전율과  $\tan\delta$ 를 온도별로 측정하였으며, 절연내력은 케이블 상의 지권형태를 고려한 중앙에 유극(有極)이 존재하는 3층 구조의 샘플을 대상으로 상용주파 절연파괴 전압 및 충격절연강도 시험을 실시하였다. 또한, 모델케이블을 제작하여 케이블로서의 성능을 예측하고 적절한 지권패턴에 따른 절연강도의 변화를 살펴보았다. 측정 결과 표 2에 나타내었으며, 100t에서 유전손실계수는 2.3×0.1 %미만의 결과를 얻었으며, AC 절연파괴강도는 100 kV/mm, 임펄스 파괴강도는 160 kV/mm를 나타내었다. 이는 기존의 일반 크라프트 절연지에 비하여 유전손실계수는 50% 수준이며, 절연내력은 125 % 정도이다. 시료와 모델케이블의 전기적 평가를 통하여 유침절연지의 파괴는 약점부인 유극에서 발생하고, 그 절연파괴 강도는 유극두께가 증가할수록 저하되며, 유극에 가해지는 전계는 절연지와 절연유의 비유전율 차이가 작을수록 완화되기 때문에 비유전율이 작은 폴리머를 사용한 반합성지는 이점에서 유리한 장점을 가지고 있으며, 격벽효과 등에 의해서도 높은 절연파괴 특성을 나타내는 사실을 확인하였다.

표 2. KPK<sup>®</sup> 반합성지의 특성

시험항목	단위	특성치
인장강도	MD	N/15 $\mu$ 75
	CD	45
신율	MD	% 1.5
	CD	3.0
박리 시험	박리되지 않을 것	
팽윤율	%	8 이하
폴리머 비율 (k)	%	50 ~ 60
비유전율 (RT)	-	2.3
유전정접	RT	% 0.1
	100 t	0.1
AC 파괴전계	kV/mm	100
Impulse 파괴강도	kV/mm	160
Kraft 절연지 특성		
Conductivity	mS/m	4.0
PH	-	5.5 ~ 5.8
Ash content	%	0.7 이하

### 2.1.4 팽윤과 박리

반합성지에 사용되는 폴리올레핀계 폴리머는 모두 절연유에 팽윤 및 용해현상을 일으킨다. 특히, 팽윤현상은 절연층 원주방향으로의 내부압력을 증대시켜 케이블 굽곡성을 저하시키며, 케이블이 굽곡되었을 때 절연층이 좌굴될 수 있는 우려가 있다. 또한, 원주방향의 유류 저항을 증대시켜 케이블 부하 변동에 따른 팽창, 수축에 의해 절연유 보급을 원활하지 못하게 하는 수가 있다. 따라서 반합성지는 팽윤에 의한 두께 증가율이 어느 정도 이하가 되도록 개발되어야 한다. 본 개발에서는 케이블 제조를 위한 지권장력을 고려하여 8% 이하가 되도록 개발되었다.

팽윤은 비결정질 공간에 절연유 분자가 침입해서 폴리머의 분자고리를 넓혀 일어나는 현상이기 때문에 일정압력, 일정온도에서 포화된다. 팽윤에 의해 내부 압력이 증대되지 않게 하는 대책으로는 다음과 같은 방법이 알려져 있다[1].

- (1) 폴리머의 결정성을 올려 잘 팽윤되지 않게 하는 방법으로 연화(annealing)처리 또는 연신처리하는 방법
- (2) 크라프트 층에 미리 수분을 주어 팽윤시키고 나서 테이핑 하는 방법
- (3) 폴리머 층에 미리 절연유를 흡수시켜 미리 팽윤시키고 나서 테이핑 하는 방법
- (4) 반합성지에 기계적인 엠보싱을 실시하는 방법

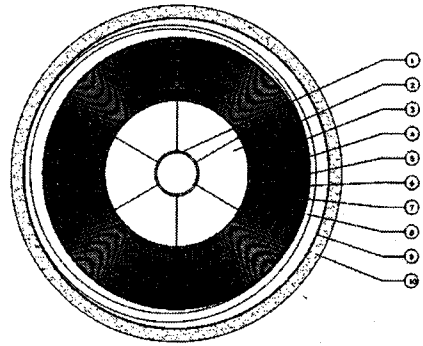
반합성지의 크라프트지와 폴리머 층과의 접합은 폴리머가 크라프트지의 섬유사이에 침투하여 이루어진다. 이때 두 재질이 서로 분리되지 않게 하기 위한 박리강도는 케이블 제조시나 포설 및 운전시에서 서로 분리하지 않을 정도의 것이 필요하다. 본 개발에서는 폴리머 층의 압출 시, 크라프트 절연지의 표면에 코로나 방전처리를 실시하여 종이의 섬유(fiber)가 폴리머 층에 박혀 접착력을 유지하도록 하는 anchor 효과와 압출냉각 물의 압력과 온도를 조절하여 박리강도를 확보하였다.

### 2.2 반합성지 케이블 개발

400 kV급 반합성지 케이블의 설계는 송전용량을 고려하여 2500 mm<sup>2</sup>의 6분할 도체 구조로 하였으며, 케이블의 절연층 구조는 도체 쪽에 크라프트 절연층을 두고 주 절연체로 KPK<sup>®</sup>층, 그 다음에 바

깎층에는 다시 크라프트 절연층을 조립하는 3층 절연구조로 설계되었다. 이는 반합성지 절연재료의 특성상 임펄스의 극성에 따라 나타나는 충격절연파괴 강도의 차이를 보완할 뿐만 아니라, 도체 직상부에서의 전기적 전계완화 효과를 부여하기 위함이다. 또한, 바깥층 크라프트 절연은 주절연층인 KPK<sup>®</sup>의 팽윤 형상의 제어와 금속쉬스 작업 및 접속함 단말공정 시 발생할 수 밖에 없는 고온으로부터 반합성지의 절연층을 보호하고자 하였다. 본 프로젝트에서는 케이블의 전체 절연두께는 25 mm로 두께 내부로부터 크라프트/KPK<sup>®</sup>/크라프트의 절연두께를 0.5 / 20 / 4.5의 두께로 설계되었다. 그림 2와 표 3은 위와 같이 설계된 반합성지 절연 400kV급 2500 mm<sup>2</sup> OF 케이블의 구조를 나타내었다.

한편, 반합성지 케이블 제조 시, 가장 중요한 것은 주절연체로 사용되는 반합성지의 지권 시 지권장력 설계가 핵심 요소기술 중의 하나이다. 이는 반합성지의 고유의 팽윤특성을 고려해야 하기 때문이다. 초기 t<sub>0</sub>의 두께를 가지는 반합성지가 케이블 도체에 지권이 이루어져 건조가 되면 층이 포함되어 있던 수분이 증발되면서 층이 부분의 두께감소로 t<sub>1</sub>으로 감소하게 된다. 이후, 케이블 절연층에 절연유가 함침하게 되면 절연유가 절연지 내부로 침투되고 이어서 PP층 팽윤현상이 발생하게 되어 다시 반합성지는 t<sub>2</sub>라는 두께로 증가하게 되며, 이는 초기 시료의 두께로 회복되는 것이 원칙이다. 따라서 적절한 지권장력으로 반합성지를 지권해야 팽윤으로 나타나는 절연층의 기계적 압력 특성의 증감을 보상할 수 있게 된다. 반합성지 지권의 장력이 너무 큰 경우 팽윤 시, 반합성지 층이 찢어질 수가 있고, 너무 낮게 설계된 경우는 절연지 층의 좌우로 미끄러짐 등의 현상이 일어 열의 층을 손상하게 되어 결국 절연약화의 원인이 될 수도 있다. 따라서 사용되는 반합성지의 함침 전후의 기계적 물리적 특성을 이용하여 최적의 지권 장력을 설계하는 것이 매우 중요하다. 본 400 kV급 반합성지 절연 케이블은 사용되는 반합성지의 장시간 함침 후 팽윤특성을 고려하여 지권장력을 설정하였고, 이를 토대로 지권을 수행하였다.



<그림 2> 400 kV급 반합성지 절연케이블 구조

표 3. 400 kV급 반합성지 케이블 구조

항 목	단위	수치
유동로①	내경	mm 18.5
	두께	mm 0.8
도체②	형상	- 중공6분할 압축원형
	외경	mm 64.0
절연체두께	mm	25.0
절연체구성③	Kraft	0.5
	KPK <sup>®</sup> 100	mm 20.0
	KPK <sup>®</sup> 120	
	KPK <sup>®</sup> 170	
Kraft	4.5	
알루미늄 피④	mm	3.0
방식 층⑤	mm	6.0
외경	mm	148

### 2.3 반합성지 절연 접속함 개발

접속함의 전기적 성능 유지를 위해 가장 중요한 것은 절연능력을 확보하는 하도록 설계하였으며, 기존 크라프트 절연지보다 절연특성이 우수한 KPK<sup>®</sup> 절연지를 보강절연층에 사용함으로써 전체적인 절

연두꺼플 줄여 전체적인 외경을 축소시켜 전체적인 접속함의 낮은 열저항성을 갖추도록 하였다.

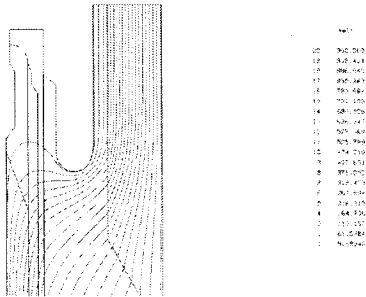
종래의 일반 크라프트 절연지를 사용하는 접속함의 보강절연체 외경, 전계완화 슬로프(slope), 펜슬링부의 설계 및 내부절연거리 설계 시 사용하는 관통방향 및 연면방향의 전위경도를 근거로 하여, 개발한 KPK<sup>®</sup>의 시편 및 모델케이블 제작을 통해 얻은 결과를 바탕으로 상용주파전압 및 충격전압 설계 기준을 마련하였으며, 이를 기준으로 보강 절연층의 구조를 설계하였다.

그림 5은 한 예로 유지절연 접속함에서의 예폭시 유지유니트의 매입금구 부근에서 등전위선 분포를 나타낸 것이다. 매입전극의 끝단에서의 최대 전계가 AC 600 kV 인가 시, 약 10 kV/mm로 기준 전계인 23.3 kV/mm를 충분히 만족함을 알 수 있다. 또한 전기적 성능을 좌우하는 설계인자로 이종 절연계면을 따라 나타나는 계면전계를 고려해야 한다. 유지절연 접속함의 예폭시 유니트와 유통로의 절연유와의 계면에서 나타나는 계면전계는 2.88 kV/mm로 나타났으며, 설계기준인 4.5 kV/mm 이하로 안정적인 설계가 되었음을 전계해석을 통하여 확인하였다.

케이블 간의 직선접속을 위한 중간 직선 접속함에서는 케이블 간의 도체 접속을 위한 슬리브를 케이블 도체와 동경이 유사한 준동경 슬리브를 사용함으로써 절연보강층에서의 전기적 스트레스를 완화하였다.

케이블 양측의 급유계통을 분리하기 위해 사용되는 유지절연접속함(SIJ)에서는 예폭시 유니트에 장착된 매입금구의 모양을 최적화하여 절연유와 예폭시 유니트의 계면에서 나타나는 연면방향 전계를 최소화하였으며, 발열부분을 없애고 부부의 중량 감소를 위하여 유지 유니트 바깥쪽 보강유침지에 KPK<sup>®</sup> 절연지를 사용하였으며, 유압 차이로 의한 응력에 견디도록 하였다. 또한 케이블 쉬스층의 끝단에서의 전계완화를 위한 스트레스 릴리프 콘에 보강 유침지 및 벨로우즈를 사용하여 조립의 용이성을 이루었다.

가스 중 중단 접속함의 설계에서는 우선 IEC 60859에 따른 PIC 타입 예폭시 애관을 설계하였다. 가스 중 중단 접속함 역시 미리 선정한 절연설계 기준에 따라 표면누설거리 및 보강유침지의 설계를 하였으며, 전계해석 및 열응력분포해석을 통해서 전기적 스트레스 및 열팽창 계수 차이로 나타날 수 있는 문제들을 검증하였다. 특히 대형의 예폭시 애관의 냉열 반복 시 발생하는 응력을 평가하기 위해 유한 요소법을 이용하여 열적 반복 스트레스에 의한 응력분포를 해석하였다. 이러한 결과를 토대로 샘플을 제작하여 냉열반복시험을 실시하였으며, 형상변경 및 금형에서의 제작 프로세스를 정립하여 실사용 중에 나타날 수 있는 문제점을 검증하여 해결하였다.



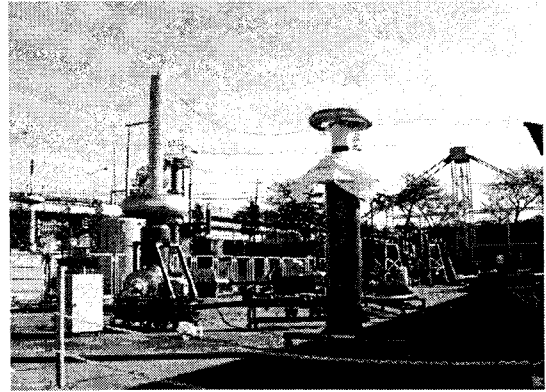
〈그림 3〉 유지절연접속함 매입금구 부근에서의 등전위 분포

#### 2.4 저온연공법 개발

접속함의 보호동판과 케이블의 알루미늄 쉬스 사이의 절연유의 누수를 방지하기 위해서 접속함 접속시공 시 연공작업이 반드시 필요하다. 연공작업은 알루미늄 쉬스 표면에 금속 친화성을 주는 메탈라이징 (metallizing) 공정과 납 연공을 하는 솔더링 (soldering) 공정으로 구성된다. 기존의 알려진 간헐적 연공법은 연공시간이 과다하게 소요되어 고온의 화기에 절연재료가 노출된다. 특히, 반합성지 절연재료의 경우 고온의 열에 약하기 때문에 케이블의 구조에서 외층으로부터 크라프트 아래의 PP 절연층이 열화되지 않는 저온 연공공정이 필요하게 된다. 이를 위해서 종래의 연공법 사용 시, 절연층의 최외곽층 크라프트 절연과 반합성지 절연층에 형성되는 온도를 실시간으로 측정하여 온도분포를 알아보았다. 실 측정결과 연공부에서의 최대온도는 열에 취약한 반합성지 층이 152℃의 온도에 노출되면서 열화가 될 우려가 존재하였다. 특히, 납 연공을 하는 솔더링 공정에서 보다 메탈라이징 공정에서 최고 온도가 기록되어 이 시간 내에서의 온도제어가 반드시 필요함을 알아내었다. 이를 해결하기 위해서 접착강도 및 상대적으로 저온에서 연공이 가능한 저온 연공재질을 개발하였다. 연공 작업시의 실측결과, 메탈라이징 공정에서 KPK<sup>®</sup>층에서 나타나는 최고온도는 95℃로 나타났으며, 솔더링 공정에서는 132℃ 까지 상승하였다. KPK<sup>®</sup> 절연재료의 열화 기준을 140℃ 정도이고, 저온연공 후 KPK<sup>®</sup> 절연층의 DSC 열분석 및 계면집합 기계적 강도의 결과 이상없는 것으로 나타났다.

### 3. 결 론

개발된 반합성지 절연 케이블 및 접속함이 설계 시 목표로 설정한 성능을 만족시키는지를 확인하기 위하여, 실사용 상태와 동일하게 조립하여 평가를 실시하였다. 제조된 케이블과 접속함을 대상으로 관련규격에 따라 정의된 요구성능치를 기준으로 전기적 특성을 측정된 결과를 표 4에 나타내었다. 표 4에 보인 바와 같이 시험항목에 모두 만족할 만한 성능을 나타내었으며, IEC 60141에 근거한 400 kV급 반합성지 OF 케이블 및 접속함에 대해 KEMA로부터 Type test를 통해 품질을 인증받았다.



〈그림 4〉 반합성지 케이블 및 접속함 Type test 시험장면

표 4. 반합성지절연 케이블 및 접속함 성능평가

항목	성능치	
굴곡시험	25(d+D), 3회	
Delamination 시험	변형율 5% 이하	
유전손실	0.14% 이하 (231kV)	
	0.16% 이하 (386kV)	
Dielectric Security 시험	500 kV/24시간	
개폐 임펄스 내전압 시험	±1170 kV, 10회	
뇌임펄스 내전압	±1550 kV, 10회	
기계특성	20D 굴곡시험 (85℃, 24시간)	이상이 없음
	오프셋시험	이상이 없음
연공특성 (저온연공적용)	이상이 없음	

위와 같은 400 kV급 반합성지 절연 케이블 및 접속함 개발을 통하여 얻은 다양한 초고압 관련기술을 이용하여 최근 선진국에서 사용검토 중인 반합성지를 사용한 해저케이블 및 초전도케이블 뿐만 아니라 500 kV급 이상의 초초고압 송전시스템의 기술 개발의 초석을 확보하였다.

#### 〔참고 문헌〕

- [1] 한국전력공사 송변전건설처, 지중송전 케이블 시스템, pp. 103-112, 2002
- [2] Ryosuke HATA, "Solid DC Submarine Cable Insulated with Polypropylene Laminated Paper", SEI Technical Review, No.62, Jun. 2006
- [3] EPRI, Development of 500 kV AC Cable Employing Laminar Insulation of Other Than Conventional Cellulosic Paper, Sept. 1980
- [4] T. Kakiri and et al, "Long-term Reliability of 500 kV DC PPLP-Insulated Oil-Filled Cable and Accessories", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 14, No. 2, pp. 319~326, April 1999