

Electrical Insulation Design and Experimental Results of a High-Tc Superconducting Cable

郭東洵* · 千賢權* · 崔在亨** · 金海鍾*** · 趙全旭§ · 金相賢†
 (Dong-Soon Kwag · Cheon-Gweon Cheon · Jae-Hyeong Choi · Hae-Jong Kim · Jeon-Wook Cho · Sang-Hyun Kim)

Abstract - A 22.9kV/50MVA class high temperature superconducting(HTS) power cable system was developed in Korea. For the optimization of electrical insulation design for a HTS cable, it is necessary to investigate the ac breakdown, impulse breakdown and partial discharge inception stress of the liquid nitrogen/laminated polypropylene paper(LPP) composite insulation system. They were used to insulation design of the model cable for a 22.9kV class HTS power cable and the model cable was manufactured. The insulation test of the manufactured model cable was evaluated in various conditions and was satisfied standard technical specification in Korea. Base on these experimental data, the single and 3 phase HTS cable of a prototype were manufactured and verified.

Key Words : High-Tc Superconducting Cable, Insulation Design, Conversion Coefficient, Cryogenics

1. 서 론

임계전류가 높고 기계적 특성이 개선된 고온초전도 선재의 개발과 더불어 전 세계적으로 고온초전도 케이블의 개발 연구가 활발히 진행되고 있으며, 현재까지의 초전도 응용기술 중 가장 적용가능성이 높다는 평가를 받고 있다[1-3]. 한국에서도 2001년부터 과학기술부가 주관하는 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로 한국전기연구원과 LS전선 등이 참여하여 22.9kV/50MVA 3상 30m 고온초전도 케이블의 개발 및 장기 실증시험에 성공하였으며, 향후 송전급 고온초전도 케이블의 개발도 진행할 계획에 있다[4][5].

고온초전도 케이블 시스템은 크게 도체부와 냉각부, 전기절연부로 구성되어진다. 초전도 전력케이블은 고전압이 인가되고 또한 액체질소 온도인 극저온(77K)에서 운전되기 때문에, 개발에 있어서 절연을 연구하는 것은 매우 중요한 부분이라 할 수 있다. 현재 한국에서 개발 중인 고온초전도 케이블의 전기절연은 초전도체 위에 얇은 절연지를 여러 겹 적층하여 감아 액체질소 중에 침적시키는 저온절연방식을 채택하고 있으며, 절연재료는 극저온에서 절연내력을 높일 수 있고 교류케이블에서 유전손실을 줄일 수 있는 polypropylene 과 kraft paper의 반합성지인 laminated polypropylene

paper(LPP)를 사용하고 있다.

본 논문에서는 한국에서 개발 중인 22.9kV급 고온초전도 케이블의 전기절연 설계를 행하고, 모델케이블을 제작하여 절연내력을 평가하였다. 특히 고온초전도 케이블의 전기절연 설계 방법에 있어서는 절연지 시트샘플의 ac 및 impulse 최대파괴전계와 부분방전개시전계를 동축 원통의 전계 계산식에 그대로 적용해 케이블의 절연두께를 계산하던 기존의 방식[6]에서 각각의 시험 전계 값에 전극의 형상 및 면적효과, 절연지의 두께효과 등을 고려한 변환계수를 절연두께 계산식에 적용하여 설계하였으며, 이는 고온초전도 케이블의 절연두께 설계 오차를 대폭 감소시켰으며 절연설계 신뢰도를 크게 향상시킬 수 있었다.

2. 본 론

2.1 전기절연 설계

고온초전도 케이블의 전기절연은 액체질소와 절연지로 이루어진 복합절연물의 내전압 특성에 의해 설계되어지므로 비교적 절연설계가 간단하고, 이들 복합절연물의 ac 및 impulse 절연파괴전계와 부분방전개시전계를 기준으로 절연설계 식에 삽입하여 계산되어진다. 하지만 장기간 운전되는 전력케이블의 안정성을 확보하기 위해서는 기초 실험데이터들의 신뢰도를 높일 필요가 있고 이를 위해 실험은 수십 차례 이상 반복하게 된다. 이 때 모든 시료를 실제 케이블 형태인 모델케이블로 만들어서 실험하기는 어려움이 있기 때문에 일반적으로 케이블의 최소 절연구성 형태를 갖는 절연지 시트샘플을 다량으로 제작하여 실험하게 된다. 하지만 LPP와 같은 고체절연물은 절연 두께와 전극의 면적, 전극의

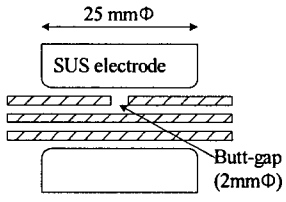
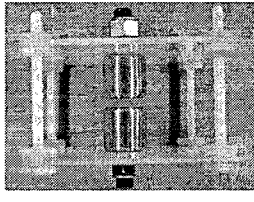
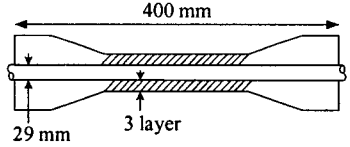
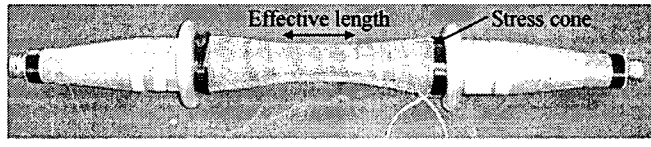
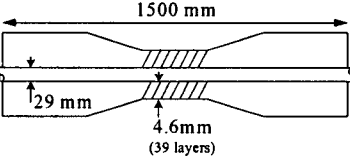
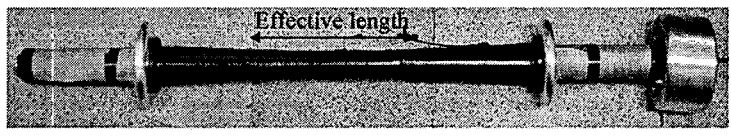
* 正 會 員 : 慶尙大 工大 電氣工學科 博士課程
 ** 準 會 員 : 慶尙大 工大 電氣工學科 碩士課程
 *** 正 會 員 : 韓國電氣研究院 超傳導應用研究그룹 先任研究員
 § 正 會 員 : 韓國電氣研究院 超傳導應用研究그룹 責任研究員
 † 교신저자, 終身會員 : 慶尙大 工大 電氣工學科 教授

E-mail : shkim@gksnu.ac.kr

接受日字 : 2006年 10月 9日

最終完了 : 2006年 11月 1日

표 1 Ac 및 impulse 절연파괴전계, 부분방전개시전계 측정을 위한 전극 및 시료의 구성
 Table 1 Configurations of the sheet sample, mini-model cable and model cable

Samples	Configurations	Photographs and dimensions
(a) Sheet sample	 <p>25 mmΦ SUS electrode Butt-gap (2mmΦ)</p>	 <p>Insulation: LPP 119μm\times3sheets Electrode: plane(25mmΦ)-plane(25mmΦ) Butt-gap: 2mmΦ(upper hole)</p>
(b) Mini-model cable	 <p>400 mm 29 mm 3 layer</p>	 <p>Effective length Stress cone</p> <p>Insulation: LPP 119μm\times3layers(with butt-gap, 30% overlap) Radius of inner conductor: 14.5mm(former)+0.26mm(carbon paper) Radius of outer insulation layer: 14.5mm(former)+0.26mm(carbon paper)+0.357mm(LPP) Total length: 400mm Effective length: 150mm</p>
(c) Model cable	 <p>1500 mm 29 mm 4.6 mm (39 layers)</p>	 <p>Effective length</p> <p>Insulation: LPP 119μm\times39layers(with butt-gap, 30% overlap) Radius of inner conductor: 14.5mm(former)+0.26mm(carbon paper) Radius of outer insulation layer: 14.5mm(former)+0.26mm(carbon paper)+4.6mm(LPP) Total length: 1,500mm Effective length: 500mm</p>

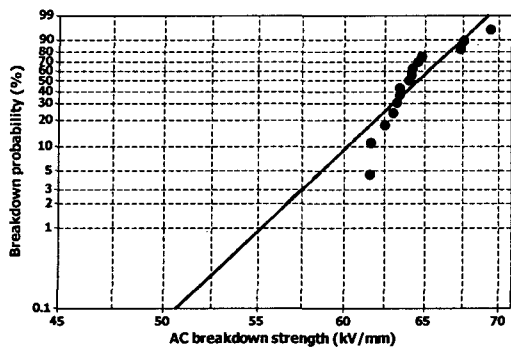
형상 등에 따라 일반적으로 각기 다른 절연특성을 나타내고 보고되어있다. 따라서 절연설계와의 오차를 좀 더 줄이고 설계의 정량화를 이루기 위해서는 면적효과와 두께효과, 형상효과 등을 고려한 변환계수가 절연설계의 중요한 요소로 작용할 것으로 사료된다.

이와 같이 변환계수를 고려한 고온초전도 케이블의 절연설계를 위하여 액체질소 중에서 LPP 시트샘플의 ac 및 impulse 절연파괴전계, 부분방전개시전계 등의 특성들이 수십 회에 걸쳐 조사되어야한다. 또한 미니모델케이블과 모델케이블을 제작하여 이들의 액체질소 중 ac 및 impulse 절연파괴전계를 조사할 필요가 있다. 위 실험결과들의 비교를 통해 ac 변환계수 및 impulse 변환계수를 산정하고 케이블 절연두께 설계 식에 적용하여 고온초전도 케이블의 절연두께를 결정할 수 있게 된다.

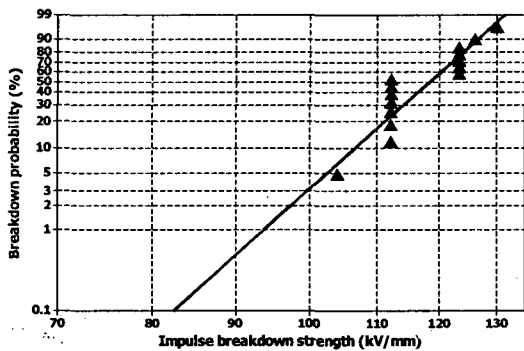
표 1에 ac 및 impulse 절연파괴전계, 부분방전개시전계 측정을 위한 시트샘플 및 미니모델케이블, 모델케이블의 전극 및 시료 구성을 나타낸다. 종이 절연방식의 고온초전도 케이블은 포설시의 굴곡과 운반시의 보빈에 감기위한 굴곡 특성을 고려하여 butt-gap을 갖는 형상으로 제작되며, 표에서 (a)의 시트샘플은 케이블의 최소 절연구성을 모의하여 LPP 3장을 적층하고, 상부 LPP에는 중앙에 직경 2mm의

butt-gap을 두었다. 시료의 크기는 절연파괴 시험 시 연면 방전에 의한 영향을 막기 위하여 직경 90mm 이상으로 절단하였다. 전극은 상·하부 모두 직경 25mm의 스테인리스강으로 제작된 평판전극을 사용하였으며, 고전압 인가 시 전극의 edge 효과를 줄이기 위하여 에폭시 수지로 molding하였다. 전극 홀더는 극저온에서의 기계적 특성이 뛰어난 fiberglass reinforced plastic(FRP)을 사용하였다. 미니모델과 모델케이블은 직경 29mm의 스테인리스강 포머 위에 전계완화를 위하여 두께 130 μ m, 폭 25mm로 절단된 카본지 2겹을 감고, 그 위에 동일한 폭으로 절단된 LPP를 절연지간 1mm의 butt-gap을 주면서 상하층간에 약 30%씩 중첩하여 각각 3매와 39매씩 절연하였다. 외부전극은 내부 전극과 동일한 방법으로 카본지 2겹을 감았다. 또한 케이블 단부의 전계 완화를 위하여 동일 절연지로 보강절연을 하고 알루미늄 재질의 stress cone을 부착하여 shield 처리 하였다. 이렇게 제작된 미니모델케이블과 모델케이블의 전체길이는 각각 400mm와 1,500mm이며, 케이블 유효길이는 각각 150mm와 500mm이다. 실험에 사용된 LPP는 'NREL standard procedures(#001)'의 수분 측정법에 따라 건조기에 넣은 후 약 105 $^{\circ}$ C에서 4시간 동안 건조하여 절연지의 수분을 완전히 제거하였다.

3매의 LPP 중 하나의 butt-gap을 갖는 시트 샘플의 액체



(a) For ac breakdown strength



(b) For impulse breakdown strength

그림 1 LPP 시트샘플의 ac 및 impulse 절연파괴전계에 대한 Weibull 확률분포 곡선.

Fig. 1 Weibull probability plots for ac and impulse breakdown strength of the LPP sheet samples.

절소 중 ac 및 impulse 절연파괴전계에 대한 Weibull 확률분포 곡선을 그림 1의 (a)와 (b)에 각각 나타낸다. Weibull 확률분포 곡선에서 0.1%의 절연파괴 확률을 갖는 지점의 절연파괴전계를 최대파괴전계라하고, 본 실험을 통해 최대파괴전계는 AC가 50kV/mm, impulse가 82kV/mm로 조사되었다.

그림 2는 액체질소의 압력 증가에 따른 LPP의 부분방전

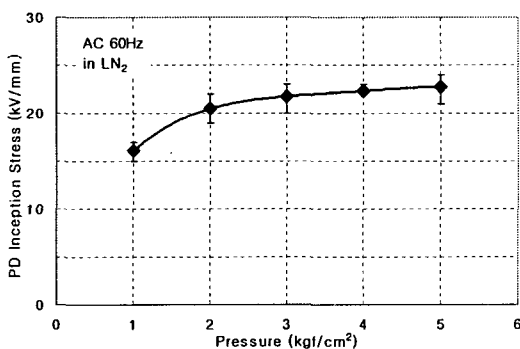


그림 2 액체질소의 압력 증가에 따른 LPP 시트샘플의 부분방전개시전계.

Fig. 2 Partial discharge inception stress of the LPP sheet samples as increasing LN₂ pressure.

표 2 시트샘플 및 미니모델케이블, 모델케이블의 ac 및 impulse 변환계수 계산

Table 2 Ac and impulse conversion coefficient of the sheet sample, mini-model cable and model cable

		Sheet sample	Mini-model cable	Model cable
Insulation thickness		0.357mm (LPP 3sheets)	0.357mm (LPP 3layers)	4.6mm (LPP 39layers)
Breakdown strength	Ac	64kV/mm	54kV/mm	30kV/mm
	Imp.	100kV/mm	91kV/mm	63kV/mm
Conversion coefficient (M)	Ac			
	Imp.			

개시전계 값을 보여준다. 부분방전개시전계는 액체질소의 압력이 증가함에 따라 점차 상승하고 있으며, 약 4kgf/cm² 정도에서 포화하는 것을 알 수 있다. 이는 액체에 가해지는 압력이 높아짐에 따라 액체질소 내에서 기포 발생을 억제하고 시트샘플의 butt-gap 내부가 액체질소로 채워지게 됨으로써 부분방전의 발생을 억제하는 역할을 하기 때문으로 사료된다. 고온초전도 케이블의 평균 운전압력이 약 3~4kgf/cm² 임을 감안할 때 부분방전개시전계 값은 실험에 의해 20kV/mm로 설정하였다.

시트샘플과 미니모델케이블, 모델케이블의 ac 및 impulse 절연파괴전계 값에 대한 변환계수(M)를 표 2에 나타낸다. 각각의 변환계수는 모델케이블의 절연파괴전계에 시트샘플의 절연파괴전계를 나누어 계산되어지며, ac 변환계수 M_{Ac}는 0.47, impulse 변환계수 M_{imp}는 0.63으로 조사되었다.

고온초전도 케이블의 절연설계를 위하여 ac 및 impulse 절연파괴, 부분방전 개시전계 등의 3가지 방법이 제안되었다. 「한전표준구매시방서」를 참조하면, 한국에서 22.9kV급 전력케이블의 ac 내전압은 80kV이고, 계통최고전압은 25.8kV, impulse 내전압은 150kV이다[7]. 따라서 고온초전도 케이블의 절연설계는 본 규격을 만족하도록 설계되어져야한다. 표 3에 3가지의 절연설계 방법에 대한 각각의 절연설계식과 계산되어진 22.9kV급 고온초전도 케이블의 절연두께를 나타내었다. 설계 식에 사용된 impulse 열화계수(L₁)는 절연파괴 전압별 인가횟수에 의존하는 'V-n 특성' 계수이며, ac 열화계수(K₁)는 절연파괴 전압별 인가시간에 의존하는 'V-t 특성' 계수이다. 또한 온도계수(L₂, K₂)는 고온초전도 케이블이 극저온에서 운전되므로 온도상승에 따른 절연물 열화가 없다고 판단하였으며, 설계 마진(L₃, K₃)은 수십 차례 이상 반복된 절연파괴 시험의 error bar 수준을 고려하여 적용하였다[8][9].

표에서 알 수 있듯이 22.9kV급 고온초전도 케이블의 절연두께는 ac 및 impulse, 부분방전에 의해 각각 3.9mm, 4.4mm, 4.5mm로 설계되어졌으며, 이 중에서 가장 두꺼운 4.5mm가 최적의 케이블 절연두께로 결정되어졌다.

표 3 22.9 kV급 고온초전도 케이블의 절연설계 방법 및 절연두께의 계산

Table 3 Insulation design method and calculated insulation thickness of a 22.9 kV class HTS cable

Power source	Design method & Insulation thickness
Ac	$t_{AC} = r_1 \cdot \left[\exp\left(\frac{V_{AC}}{E_{\max(AC)} \cdot M_{AC} \cdot r_1}\right) - 1 \right] = 3.9\text{mm}$ <p> t_{AC} : Insulation thickness for ac r_1 : Radius of inner conductor(14.76mm) V_{AC} : Ac withstand voltage(80kV) $E_{\max(AC)}$: Maximum ac breakdown strength (50kV/mm) M_{AC} : Ac conversion coefficient(0.47) </p>
Imp.	$t_{imp} = r_1 \cdot \left[\exp\left(\frac{V_{imp} \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot L_3}{E_{\max(imp)} \cdot M_{imp} \cdot r_1}\right) - 1 \right] = 4.4\text{mm}$ <p> t_{imp} : Insulation thickness for impulse r_1 : Radius of inner conductor(14.76mm) V_{imp} : Impulse withstand voltage(150kV) L_1 : Impulse degradation coefficient(1.1) L_2 : Impulse temperature coefficient(1.0) L_3 : Impulse design margin(1.2) $E_{\max(imp)}$: Maximum impulse breakdown strength(82kV/mm) M_{imp} : Impulse conversion coefficient(0.63) </p>
PD	$t_{PD} = r_1 \cdot \left[\exp\left(\frac{U_m}{\sqrt{3}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3\right) - 1 \right] = 4.5\text{mm}$ <p> t_{PD} : Insulation thickness for PD r_1 : Radius of inner conductor(14.76) U_m : System maximum ac voltage(25.8kV) K_1 : Ac degradation coefficient(1.87) K_2 : Ac temperature coefficient(1.0) K_3 : Ac design margin(1.32) $E_{\max(PD)}$: Maximum PD inception stress (20kV/mm) M_{AC} : Ac conversion coefficient(0.47) </p>

2.2 모델케이블의 제작 및 시험평가

설계되어진 22.9kV급 고온초전도 케이블의 절연 성능을 시험하고 실 계통에 적용할 수 있는 절연데이터를 확보하기 위하여 절연두께 4.5mm, 전체길이 1500mm, 유효길이 500mm의 모델케이블을 제작하였다. 내도체부는 직경 25.5mm의 flexible 스테인리스강 포머 위에 표면을 평활하

게 해주기 위한 스테인리스강 테이프, 통전을 위한 고온초전도 테이프(Ag/Bi-2223) 2층, 전계 완화를 위한 카본지 2매를 감아 구성하였다. 이렇게 구성된 내도체 반경은 14.76mm이다. 절연층은 LPP를 4.5mm 두께로 감아 절연을 하였고, 외부전극으로는 카본지 2매를 감았다.

모델케이블의 절연시험 평가는 ac 및 impulse 내전압시험, 부분방전 개시전하량 측정 등의 3가지 특성을 「한전표준구매시방서」의 규정에 따라 시행하였다[7]. 모든 시험평가는 대기압 하에서 모델케이블의 충분한 냉각을 위해 액체 질소에 4시간 이상 침적시킨 후 이루어졌다.

Ac 내전압 시험기준은 60초 동안 80kV까지 전압을 상승시킨 후 60분을 견디면 시험기준을 통과한다. 그 이후 5분마다 10kV씩 케이블의 절연파괴가 일어날 때까지 전압을 상승시켜 그 절연파괴 전압값을 기록하였다. 그림 3에 모델케이블의 ac 내전압 및 절연파괴시험 결과를 나타낸다. 시험 결과로써, ac 80kV에서 1시간동안 절연파괴는 일어나지 않았으며, 120kV에서 절연파괴가 발생하였다.

Impulse 내전압 시험기준은 1.2×50μs의 표준파형을 갖는 뇌 impulse 150kV를 내도체와 차폐층간에 정극성 및 부극성으로 각각 10회씩 인가하고 절연파괴가 발생하지 않으면 시험기준을 통과한다. 그 이후 5kV씩 전압을 상승시켜 케이

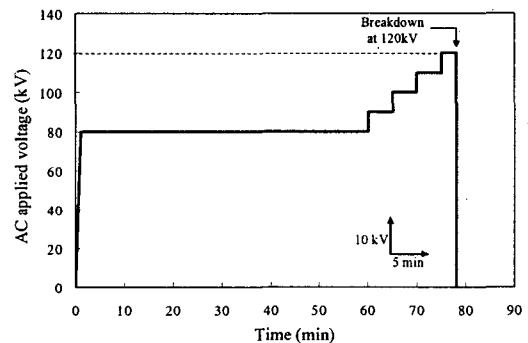


그림 3 모델케이블의 ac 내전압 및 절연파괴 시험. Fig. 3 Ac withstand and breakdown test of the model cable.

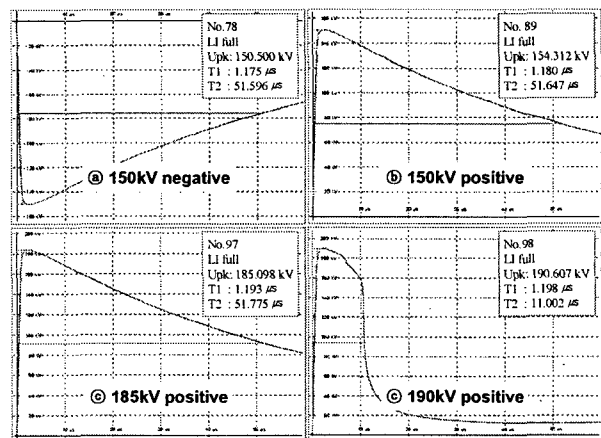


그림 4 모델케이블의 impulse 내전압 및 절연파괴 시험. Fig. 4 Impulse withstand and breakdown test of the model cable.

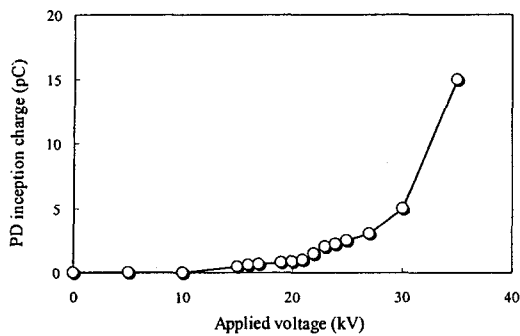
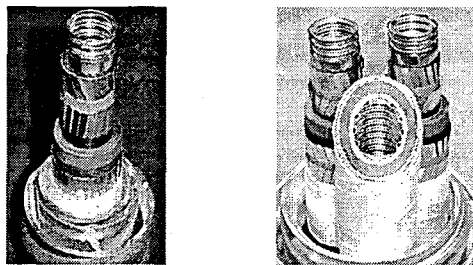


그림 5 모델케이블의 인가전압에 따른 부분방전 전하량 측정 시험.

Fig. 5 Partial discharge detection as Applied voltage of the model cable.



(a) Single-phase core (b) Three-phase core

그림 6 개발된 단상 및 3상 고온초전도 케이블 절단모형.
Fig. 6 Cut-model for the developed single-phase and three-phase HTS cable.

블의 절연파괴가 일어나는 전압값을 기록하였다. 그림 4에 모델케이블의 impulse 내전압 및 절연파괴 시험 결과를 나타낸다. 시험결과로써, 뇌 impulse 정극성 및 부극성 150kV를 10회 인가하였을 때 절연파괴가 일어나지 않았으며, 190kV에서 절연파괴가 발생하였다.

부분방전 시험기준은 내도체와 차폐층간에 ac 23kV를 인가하여 그때 발생하는 방전 전하량이 5pC 이하이면 시험기준을 만족한다. 시험에 앞서 모델케이블 단부에서 코로나가 발생하지 않도록 충분한 처리를 하였으며, 시험 장소는 외부 noise 1pC 이하의 shield room 내에서 이루어졌다. 그림 5에 모델케이블의 인가전압에 따른 부분방전 전하량 측정결과를 나타낸다. 시험결과로써, 부분방전 전하량은 ac 23kV에서 약 2pC, 30kV에서 5pC의 전하량이 검출되어 시험기준을 만

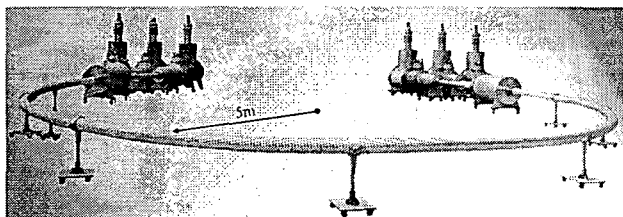


그림 7 실증시험장에 설치된 30m급 고온초전도 케이블.
Fig. 7 Testing site of the developed 30 m class HTS cable system.

족하였다.

본 연구결과를 근거로 하여 한국전기연구원과 LS전선에서는 30m 길이의 단상 22.9kV/1260A_{rms} 및 3상 22.9kV/50MVA 급의 2종류의 고온초전도 케이블 시스템을 개발하여 케이블 실증시험장에 설치하였다. 개발된 단상 및 3상 고온초전도 케이블의 절단모형 사진을 그림 6에 나타낸다. 또한 그림 7은 개발된 고온초전도 케이블 시스템이 실증시험장에 설치된 사진을 나타내며, 5m의 굴곡반경을 가지면서 U자 형태로 설치되었다. 본 케이블의 전기절연은 ac 및 impulse 내전압 시험에서 그 어떠한 문제점도 발생하지 않았으며, ac 55kV에서의 부분방전 개시 전하량은 약 10pC 이하로 매우 만족할만한 절연 특성을 보였다.

3. 결 론

2001년부터 한국에서 진행되어온 고온초전도 케이블 개발 연구는 설계에서 제작 및 시험평가를 완료한 상태이며, 좀 더 경쟁력 있는 케이블 개발을 위한 연구가 계속되어오고 있다. 케이블의 최적 절연설계를 위한 극저온에서의 전기절연 특성연구 또한 중요한 항목 중의 하나라고 할 수 있다.

본 논문에서는 고온초전도 케이블의 절연두께를 설계하기 위해 전극의 형상 및 면적효과, 절연지의 두께효과 등을 고려한 변환계수를 도입하였으며, 이렇게 설계되어진 케이블의 절연두께는 30m급 prototype 케이블에서 만족할만한 절연특성을 보여주었다. 이는 고온초전도 케이블 절연설계 기술의 신뢰성을 확보하고 보다 정량화된 절연두께를 설계할 수 있다는 것을 제시한다. 현재 한국에서는 무엇보다 전기절연이 가장 중요한 핵심기술이라 할 수 있는 154kV급 고온초전도 케이블의 개발이 진행 중에 있으며, 본 논문에서 제시한 변환계수를 이용한 절연설계 기술은 중요한 자료로써 활용될 것이라 사료된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대 초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] H. Suzuki, T. Takahashi, M. Ichikawa, T. Okamoto, N. Ishii, S. Mukoyama, and A. Kimura, "Insulation Design Method of Cold Dielectric Type Superconducting Power Cable and Its Verification Tests", 2005 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, pp. 361-364, 2005.

[2] N. Hayakawa, K. Sahara, H. Kojima, F. Endo, and H. Okubo, "Partial Discharge Inception and Breakdown Characteristics for HTS Cables", 2005 Annual Report

Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, pp. 345-348, 2005.

- [3] N. Hayakawa, M. Nagino, H. Kojima, M. Goto, T. Takahashi, K. Yasuda, and H. Okubo, "Dielectric Characteristics of HTS Cables Based on Partial Discharge Measurement", IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol. 15, No. 2, pp. 1802-1805, June 2005.
- [4] D. W. Kim, H. M. Jang, C. H. Lee, J. H. Kim, C. W. Ha, Y. H. Kwon, D. W. Kim, and J. W. Cho, "Development of the 22.9-kV Class HTS Power Cable in LG Cable", IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol. 15, No. 2, pp. 1723-1726, June 2005.
- [5] J. W. Cho, J. H. Bae, H. J. Kim, K. D. Sim, K. C. Seong, H. M. Jang, and D. W. Kim, "Development and Testing of 30 m HTS Power Transmission Cable", IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol. 15, No. 2, pp. 1719-1722, June 2005.
- [6] Y. S. Kim, D. S. Kwag, H. J. Kim, J. W. Cho, K. C. Seong, and S. H. Kim, "Research on Insulation Design of 22.9-kV High-Tc Superconducting Cable in Korea", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 20, No. 2, pp. 554-559, April 2005.
- [7] 한전표준구매시방서, "22.9kV 동심중성선 전력케이블 (ES126-650~664)", 2001.11.09 개정.
- [8] K. Miyoshi, S. Mukoyama, H. Tsubouchi, A. Takagi, S. Meguro, K. Matsuo, S. Honjo, T. Mimura, and Y. Takahashi, "Design and Production of High-Tc Superconducting Power Transmission Cable", IEEE Trans. Appl. Supercond. Vol. 11, No. 1, pp. 2363-2366, March 2001.
- [9] T. Takahashi, H. Suzuki, M. Ichikawa, T. Okamoto, S. Akita, S. Maruyama, and A. Kimura, "Dielectric Properties of 500 m Long HTS Power Cable", IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol. 15, No. 2, pp. 1767-1770, June 2005.

저 자 소 개



곽 동 순 (郭 東 洵)
 1975년 9월 8일생. 2002년 경상대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.
 Tel : 055-751-5345
 Fax : 055-761-8820
 E-mail : dskwag2@empal.com



천 현 권 (千 賢 權)
 1978년 6월 2일생. 2004년 경상대 공대 전기공학과 졸업. 2006년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.
 Tel : 055-751-5345
 Fax : 055-761-8820
 E-mail : hgcheon@empal.com



최 재 형 (崔 在 亨)
 1979년 6월 3일생. 2005년 경상대 공대 전기공학과 졸업. 2005년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.
 Tel : 055-751-5345
 Fax : 055-761-8820
 E-mail : merini@hanmail.net



김 해 종 (金 海 鍾)
 1965년 11월 25일생. 1993년 경상대 공대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1996년~현재 한국전기연구원 초전도응용연구그룹 선임연구원.
 Tel : 055-280-1658
 Fax : 055-280-1696
 E-mail : hjkim@keri.re.kr



조 전 옥 (趙 全 旭)
 1960년 3월 2일생. 1983년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 연세대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1990년~현재 한국전기연구원 초전도응용연구그룹 책임연구원.
 Tel : 055-280-1652
 Fax : 055-280-1696
 E-mail : jwcho@keri.re.kr



김 상 현 (金 相 賢)
 1950년 2월 7일생. 1974년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1979년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 일본 오사카 대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1986년~1989년 한국전기연구원 초전도 연구실 실장. 1999년~2001년 경상대학교 공과대학 학장. 2000년~2002년 한국초전도·저온공학회 회장. 1989년~현재 경상대 공대 전기공학과 교수.
 Tel : 055-751-5345
 Fax : 055-761-8820
 E-mail : shkim@gsnu.ac.kr