

고온초전도 전력케이블의 동향

조 전 욱

한국전기연구소 초전도응용연구그룹 선임연구원

1. 서론

1911년 네덜란드의 K.Onnes에 의해 액체헬륨온도에서 수은의 저항이 영(zero)이 되는 현상 즉 “초전도” 현상이 발견된 이후 수많은 초전도 물질이 발견되고, 이의 응용을 위한 연구개발이 세계 각국에서 꾸준히 진행되고 있으며, 1961년 McFee에 의해 초전도케이블이 처음 제안되었다. 그러나 이러한 저온 초전도체는 액체헬륨온도와 같이 극저온에서 사용되어야 하는 한계 때문에 상용화에 어려움이 있어 MRI-CT, NMR 등의 일부 기기에서만 실용화가 이루어지고 있지만, 1986년 미국의 Chu와 Wu에 의해 임계온도가 90K 이상인 Y-Ba-Cu-O계 고온초전도 재료가 발견되면서 세계적으로 수많은 고온초전도재료의 개발이 활기를 띠고 있어 초전도 기술의 실용화와 함께 전력기기의 초전도화에 대한 기대가 가속화되고 있다.

최근 세계 경제가 급속하게 발전함에 따라 전력수요의 지속적인 증가가 예상되며, 특히 대도시에서 빌딩의 집중 및 초고층화, 도시기능의 고도화에 따라 전력수요가 대량 집중되는 현상이 발생되고 있다. 이러한 전력수요의 증가에 대한 대책으로 지중케이블을 대용량화하거나, 복수회선을 신설 또는 증설하여 설치하고 있으나, 도심의 지하공간이 지하철, 통신, 수도, GAS 및 빌딩 등에 의해 점유

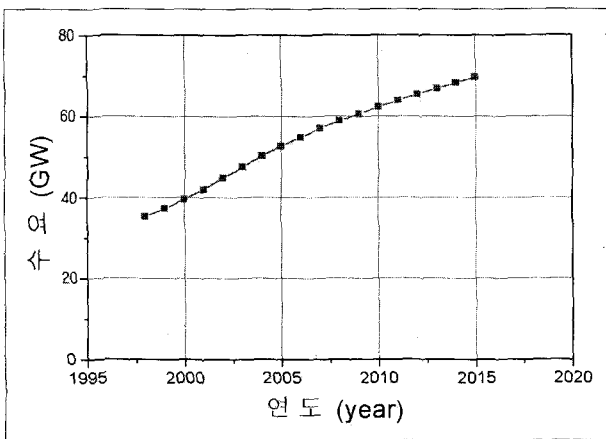
되어 케이블 관로 및 지중케이블용 전력구를 위한 지하공간의 확보가 매우 어려운 실정이다. 또한 케이블을 대용량화하기 위한 방법으로 저손실 OF케이블, 대도체 CV케이블 등과 같이 고전압화 및 강제냉각방식의 적용이나 절연체의 유전체손실의 저감을 통한 케이블의 용량을 증대시키기 위한 연구가 진행되고 있지만 이러한 방법에 의한 송전용량의 증대는 한계가 있다. 지중전력선 대신 가공송전선을 사용할 경우 설치비용이 지중케이블보다 저렴하고 용량을 증대하기가 상대적으로 용이하지만 도심지에서의 첩탑설치 곤란, 유도장해, 전파장해, 민원의 발생, 도시미관 저해 등의 문제점이 있어 도심에서의 사용이 곤란하여 시외지역에서만 주로 사용되고 도심근교에서부터 송전선의 지중화가 이루어지고 있다.

따라서 전력수요의 증가와 집중화에 대비하여 도심지에 적용하기에 가장 이상적인 지중 송전방식으로서 송전 에너지밀도가 매우 높고, 송전에너지 손실이 현저하게 적은 초전도 전력케이블을 고려할 수 있다. 특히, 최근에는 고온초전도 도체를 사용하는 액체질소 냉각형 고온초전도 전력케이블이 기존의 전력케이블 방식이나 액체헬륨을 사용하는 저온초전도 케이블보다 경제성이 우수하여 미국, 일본, 영국 등의 선진 외국을 중심으로 구체적인 현장적용을 전제로 한 연구개발이 활발하게 진행되고 있다.

한편 국내의 전력수요도 지속적인 경제성장에 따라 그

림 1과 같이 1997년 35.8GW에서 2010년에는 62.2GW로 현재의 약 2배 증가할 것으로 예상되고 있으며,⁽¹⁾ 특히 도심부에 전력수요가 대량 집중되는 현상이 발생되고 있다. 현재는 전력수요의 고밀도화에 따른 대책으로 지중 케이블을 154kV급에서 345kV급으로 대용량화하거나, 복수회선을 신·증설하여 포설하고 있으나, 서울 등 대도시의 도심부에는 지하철, 통신, 수도, GAS 및 빌딩 등에 의해 지하공간이 점유되어 있어 지중케이블용 관로 및 전력구를 확보하는 데는 한계가 있으며 국내 지중 송전선로의 포설 현황은 표 1과 같이 2005년이면 현재의 2배 이상의 지중선로가 필요하게 된다. 따라서 한국에서의 고온초전도 전력케이블의 도입필요성이 매우 높으며 도입시기도 외국의 예측보다 빠를 가능성이 있을 것으로 예측되고 있다.

이 글에서는 고온초전도 전력케이블의 특징, 구성 및 세계의 연구개발 동향에 대해 기술한다.



〈그림 1〉 장기전력수급계획

〈표 1〉 지중 송전 선로 실적 및 수요예측

구분	회선길이 c-km				
	1995	1997	1999	2000	2008
전압별					
345kV	-	49	92.8	159	304
154kV	709	943	1104	1321	2113
합 계	709	992	1196.8	1480	2417

2. 고온초전도 전력케이블의 특징

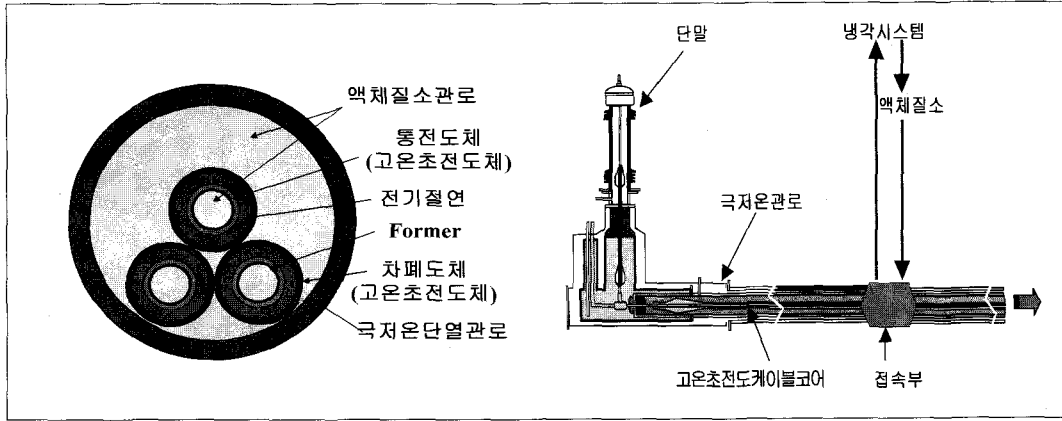
고온초전도 전력케이블은 기존 케이블의 구리도체 대신 고온초전도 도체를 사용하여 전기저항이 없어지는 초전도현상을 이용하여 저손실·대용량 전력수송이 가능한 전력케이블로서 대도시의 전력공급문제를 해결할 수 있는 환경 친화적 신개념의 전력케이블이다.

초전도케이블의 구성은 크게 나누어 케이블 코어와 케이블 코어를 저온으로 유지시켜주는 극저온 관로로 구성되어 있으며, 그림 2는 전형적인 고온초전도 전력케이블의 단면 구조와 시스템의 구성도를 나타낸 것이다. 그림과 같이 케이블 코어는 냉각 Channel과 형상유지를 위한 Former, 통전용 초전도도체, 전기절연체, 차폐용 초전도도체 등으로 구성되며, 극저온 관로는 상온으로부터의 열 유입을 차단하기 위한 고진공층을 갖는 초열절연관로와 냉매의 순환을 위한 냉각시스템으로 구성된다.

고온초전도케이블의 구성은 그림2와 같이 현재 사용중인 OF케이블과 유사하지만 표2에서 보는 바와 같이 Cu도체 대신에 고온초전도도체를 사용하고 액체질소온도(77K(=-196°C))를 유지할 극저온 관로(Cryostat)가 필요하기 때문에 그 구조가 다르다.

고온초전도 전력케이블은 헬륨에 비하여 가격이 매우 저렴한 액체질소를 냉매로 사용하기 때문에 액체헬륨을 사용하는 급속계 저온초전도 송전시스템에 비하여 외부와의 온도차이가 작아 극저온 관로의 구조를 단순화시킬 수 있으며, 작은 사이즈의 극저온 관로에서도 대용량의 고온초전도 전력케이블을 구성할 수 있다.⁽²⁾

또한 종래의 전력케이블에 비해 초전도케이블은 765kV나 345kV의 초고압이 아닌 154kV 또는 22.9kV의 저전압으로 대용량 송전이 가능하기 때문에 종래 변전소의 고전압송전을 위한 주변기기를 간략화시킬 수 있으며, 송전손실이 극히 작고 컴팩트한 케이블에 의해 부지문제의 해결 등 초전도케이블의 특징을 열거하면 다음



〈그림 2〉 고온초전도송전케이블의 단면구조 및 시스템 구성도

과 같다.

(1) 대용량·저손실

초전도케이블은 현재의 케이블에 비해 대전류를 흘릴 수 있을 뿐만 아니라, 교류손실이 종래 케이블에 비하여 1/20로 극히 작으며 송전용량 또한 현재보다 수배 이상 증가시킬 수 있다.

(2) 저전압 송전

현재의 전력케이블은 주로 송전전압을 상승시키는 방법에 의해 송전용량을 증대시키고 있으나, 초전도케이블은 대전류를 흘리는 것이 가능하기 때문에 동일용량을

송전할 경우 기존의 전력케이블보다 낮은 전압으로 송전이 가능하다. 즉 345kV, 765kV로 송압하여 송전하지 않고 154kV 또는 22.9kV로 수용가까지 저전압·대전류의 대용량송전이 가능하다.

(3) 송전비용의 절감

- ① 지중계통의 전압등급의 균일화가 가능하고, 도심의 초고압 변전소 (345/154kV 변전소)의 생략이 가능하여 송전비용을 줄일 수 있다.
- ② 절연전압레벨의 감소로 송·변전기기의 Compact화 및 전력기기 가격의 저하가 가능하다.
- ③ 저전압화에 의해 케이블의 충전전류가 크게 감소하기 때문에 보상용 리액터를 경감하여 계통전체에 걸쳐 송전비용을 줄이는 것이 가능하다.

(4) 케이블의 소형화

초전도케이블은 1회선당의 송전용량이 대단히 크기 때문에 동일한 용량을 송전하는 경우 종래 케이블에 비해 소요 회선수가 대폭 감소된다. 그러나 액체질소온도의 극저온유지를 위한 진공단열구조가 필요하여 케이블의 크기가 다소 커지게 되지만 OF케이블, 금속계 저온초전도 케이블 및 고온초전도케이블의 송전용량에 따른 단면 크

〈표 2〉 기존 전력케이블과의 비교

항 목	고온초전도케이블	OF 케이블	CV 케이블	
도체	재료	고온초전도도체 (Bi-2223)	Cu	Cu
	구조	Tape형태	원형압축연선	원형압축연선
Former	Flexible Pipe 또는 Spiral Tape	Spiral Tape	없음	
냉매	액체질소	OF케이블용 절연유	없음	
절연	냉매함침 절연방식	OF 절연유 함침	XLPE 압출	
Sheath	고온초전도 도체 (Bi-2223)	Aluminium	Aluminium	
냉각계통	액체질소의 순환 및 냉동기 부착	PT 등 유압조절 장치	냉각수	

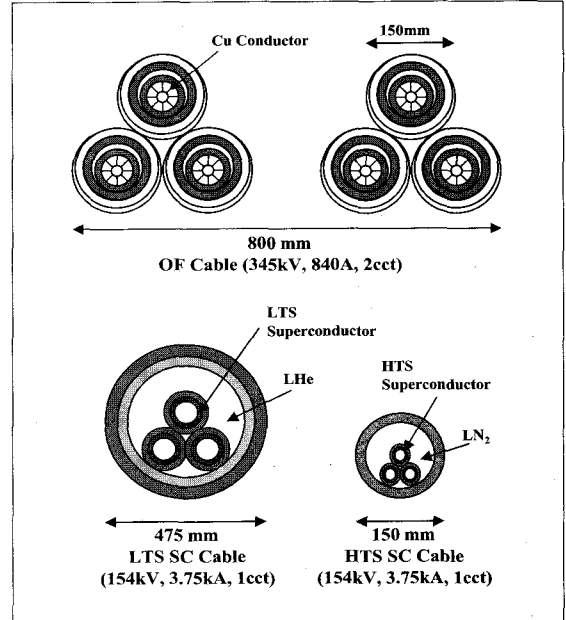
기를 비교하면 그림 3과 같이 고온초전도케이블이 가장 작고 케이블의 송전밀도가 높다.

(5) 케이블 관로의 소형화(건설비용의 절감)

향후 전력계통은 전원설비의 대용량화, 도심의 집중 및 지역적인 편재화 등에 따른 부지확보와 기존 전력구의 확장이나 신규건설 등 전력계통의 확장에 따른 전력구의 확보 문제가 심각할 것으로 예상된다. 그러나 고온초전도 케이블을 적용하면 그림 4에서 보는 바와 같이 동일 송전 용량으로 기준할 때 케이블의 포설에 필요한 Tunnel의 직경을 60% 정도 작게 할 수 있기 때문에 기존 관로나 전력구의 활용이 가능하여 건설비용을 대폭 절감할 수 있다. 특히 케이블 회선수의 감소와 케이블의 소형화 가능성은 지중송전선의 총 건설비 중 Tunnel 건설비가 차지하는 비중을 고려할 때 경제성 측면에서 매우 중요하다.

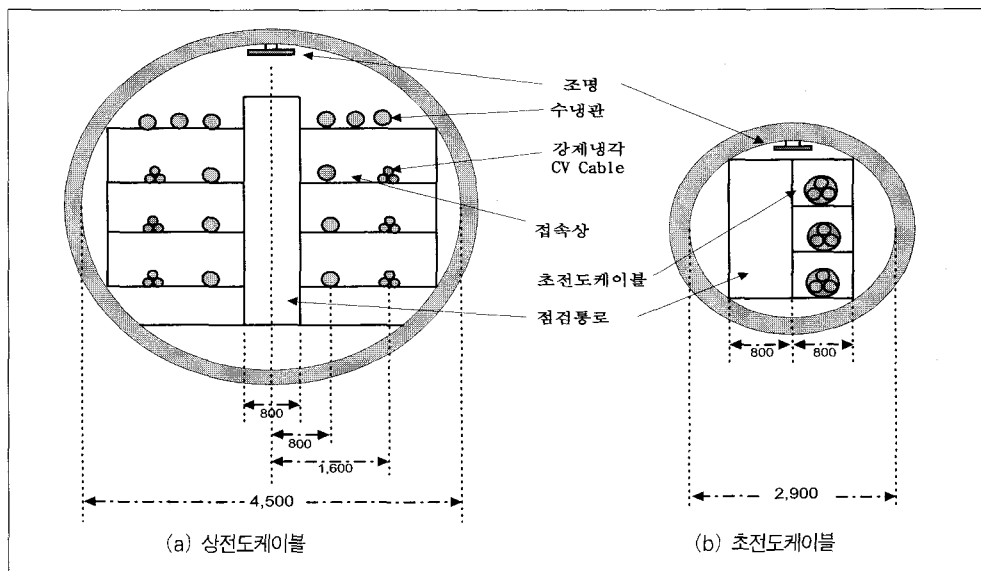
(6) 금속계 저온초전도 케이블과의 비교

고온초전도 케이블은 종래의 액체헬륨냉각의 금속계 저온초전도 케이블에 비해서 냉동기의 운전비용, 설치면



〈그림 3〉 1GVA용량의 케이블 크기 비교

적 등의 냉각계 비용이 대폭 저감되고 냉각단열관의 구조가 간소화되며, 케이블 및 부속품의 비용을 대폭 저감



〈그림 4〉 전력구 규모의 비교

기술동향

시킬 수 있다. 또한 초기냉각에 필요한 시간과 비용을 저감시켜 사고보수가 용이한 점 등의 기술적, 경제적 장점들이 있다.

(7) 장거리송전가능

초전도케이블은 저손실·대전류송전이 가능하여 케이블 허용전류 중 충전전류가 차지하는 비중이 작기 때문에 종래의 케이블에 비해 충전전류가 송전 길이의 제약 조건으로 작용하는 경우가 적아 장거리송전이 가능하다.

3. 고온초전도 전력케이블의 요소기술

고온초전도 전력케이블 개발을 위해서는 표 3 및 그림 5와 같이 케이블코어의 개발과 이를 위한 고온초전도 도체의 장척화 및 균일화, 극저온 단말 및 접속재, 저손실형의 극저온관로, 운전시 유지보수를 고려한 최적의 Closed-loop Type의 냉각시스템 그리고 계통연계운전 방법 및 시스템 운용기술 등 여러 요소기술이 필요하지만, 국내의 축적된 기술을 바탕으로 산·학·연 공동의 꾸준한 연구개발을 추진하면 2010년 전에는 상용화를 실현할 수 있는 수준에 도달할 수 있을 것으로 예상된다.

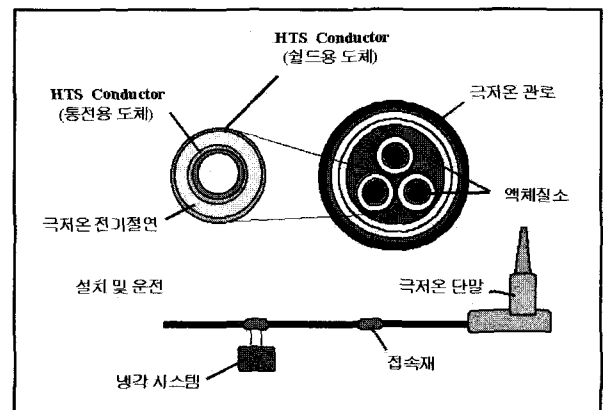
4. 고온초전도 전력케이블의 경제성 분석

일본 및 미국, 독일 등의 전력회사와 여러 연구소에서 고온초전도 전력케이블의 가능성 및 경제성에 대하여 많은 분석을 하였다. 초전도케이블의 도입효과로서 보상 리액터의 경감, 지하변전소의 생략 등의 장점도 기대할 수 있으며 초전도케이블과 기존의 CV송전 방식을 비교한 도쿄전력의 보고에서는 표 4에 나타낸 결과에서 알 수 있듯이 급속계 초전도케이블뿐만 아니라 기존의 CV케이블과 비교해도 고온초전도 전력케이블이 경제성이 있는 것으로 판명되고 있다.⁽³⁾

최근의 연구에서는 지하의 과밀화가 현저한 대도시에

〈표 3〉 주요 요소기술 내용

항목	주요 기술내용	
케이블코어	코어설계	Low AC Loss 구조설계
	고온초전도도체	도체의 장척화 및 균일화
	절연재료	높은 절연내력 Low Dielectric Loss
극저온 관로	관로 및 Heat Leak의 최소화 Low Pressure Loss	
부속재	단 말	고전압 대전류의 전기절연구조 Low Heat Leak
	접속재	HTSC Joint 현장접속기술(On-site Joint)
냉각시스템	대용량 Cryocooler 운전 자동화	
계측 및 제어	극저온 계측, 제어시스템 사고예지 시스템	
시스템 운전	최적운전시스템 개발 케이블시스템의 열수축	
계통적용 및 Feasibility 검토	실용화 대비한 계통연계운전	



〈그림 5〉 초전도케이블 개발을 위한 주요 요소기술

서의 지중간선 선로의 신설이나 증설을 상정하고 있는 경우가 많기 때문에 종래의 상전도 케이블계통보다도 비용절감의 효과가 있다는 연구결과가 발표되고 있다. 저온 초전도케이블이 5GVA/cct 이상의 초대용량이 아니면 경제적 우위를 차지할 수 없는 것에 비해서 고온초전도 케이블은 가까운 장래에 필요하게 될 1~3GVA 이하에서도 충분히 경제성이 있다고 하는 검토 결과가 제안되고 있다.

〈표 4〉 각종 송전 케이블의 송전비용 분석

케이블종류	고온초전도		금속초전도			상온CV
	Bi-2223		Nb ₃ Sn		NbTi	
초전도체	Bi-2223		Nb ₃ Sn		NbTi	간접수냉
특징	J _c =10 ⁴ A/cm ²	J _c =10 ⁵ A/cm ²	기존의 교류손실치	기존 손실치의 1/10	교류용 극세다심선	
선재가격	NbTi의 1/10	NbTi와 유사	NbTi와 유사		NbTi와 유사	-
정격전압(kV)	275		275		500	500
정격용량(GVA)	3		3		3	1.5
회선수	3		3		3	5
건설비용 (①, ② 제외)	4,896	4,486	5,657	5,417	9,615	5,550
전력구 건설비용 (①)	3,591	2,910	5,028	5,028	3,879	3,591
냉동기설치용 대지비용(②)	402	300	624	588	1,080	-
송전 비용 ¹	1,528	1,296	1,904	1,856	2,472	1,600
상대비	118	100	147	143	191	123

주 1: 송전비용의 단위는 천원/MVA·km·year. 기타 비용은 상대치
 주 2: 송전용량은 6GW/route이며 각각 1cct를 추가로 설치한다는 가정에서 계산

5. 세계의 연구개발 동향

'80년대까지 세계의 초전도 전력케이블 개발연구는 주로 금속계 초전도체인 Nb, NbTi, Nb₃Sn 등을 이용하여 1960년대부터 시작되었다. 세부적으로는 초전도도체, 전기절연, 열절연 등의 케이블부품과 케이블단말, 냉각시스템 등의 기술개발이 진행되어 미국의 BNL국립연구소, 오스트리아의 Gratz 연구소를 필두로 하여 구미 각국에서 연구가 진행되었으며, 일본에서도 전자기술종합연구소, 나고야대학, 도요하시기술과학대학 등에서 금속계 초전도체를 이용한 초전도송전시스템을 시제작하여 평가까지 마친 상태로 이미 상당한 기술 수준에 있다고 할 수 있다. 그러나 상용화를 위해서는 제조기술, 포설공법, 고장대책 등을 포함한 신뢰성확보 및 경제성 관점에서 여러 과제가 남아 있다.

현재 고온초전도체의 개발은 케이블의 실용화를 위하여 많은 기대를 모으고 있다. 금속계 초전도(저온) 송전시스템이 기본적으로 고가의 액체헬륨을 사용하기 때문에 송전 관로의 크기가 대형화되고 또한 액체헬륨의 냉

각시스템을 유지하기 위하여는 많은 비용이 들기 때문에 고온초전도체를 이용한 초전도송전시스템이 일본, 미국, 유럽 등에서 활발하게 개발중이다. 고온초전도선재는 Bi-Sr-Ca-Cu-O 2223 산화물이 Powder-in-tube법에 의하여 12,000m의 선재가 일본의 스미토모전공 등에서 만들어지고 있으며 임계전류밀도도 계속 향상되고 있다. 임계전류밀도의 자장특성의 문제도 케이블은 1T 이하의 자기자장하에서 사용하기 때문에 케이블에의 응용이 다른 초전도기기에 비하여 실용화가 가장 가까이 와있다고 할 수 있다. 특히 장척 케이블을 냉각하는데에 액체질소를 사용하기 때문에 냉각효율의 향상, 열절연 구조의 간략화에 따라 경제적인 측면도 매우 유리하여 고온초전도 전력케이블이 장래의 전력 계통구축의 중심핵으로 기대를 모으고 있다.

가. 외국의 기술개발동향

초전도케이블은 1961년에 McFee가 최초로 제안하여 80년대까지 유럽, 미국, 러시아, 일본 등에서 저온초전도 케이블에 대한 연구개발이 진행되었으나, 1987년에 약

90K의 임계온도로 초전도특성의 재현성이 양호한 Y-Ba-Cu-O계 초전도체가 발견되어 액체헬륨이 필요 없는 액체질소냉각 초전도케이블의 실현가능성을 기술적으로 검토하게 되었다. 상기 고온초전도체의 발견 이후 1, 2년 사이에 선진각국에서는 고온초전도 케이블의 실용화가능성에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔다. 이들 연구는 대부분이 고온초전도체의 물성치가 많이 알려지지 않은 시기에 행해졌기 때문에 이전에 연구된 액체헬륨 냉각 초전도케이블의 개념설계 결과 및 비용계산을 기초로 하여 금속계초전도선과 동등한 성능과 비용을 가진 고온초전도체가 개발되어진다는 가정하에 검토가 진행되었다. 그러나 최근에는 Bi계 고온초전도선재의 고임계 전류밀도화와 장척화가 이루어지면서 초전도 전력케이블 연구개발은 실용화를 목표로 경제성이 있는 고온초전도 전력케이블 시스템을 개발하는 방향으로 나아가고 있다.

특히 미국, 일본, 독일, 이탈리아 등을 중심으로 정부와 관련기업이 공동으로 고온초전도 전력케이블 개발을 위한 국가적인 프로젝트를 진행하고 있다. 미국은 DOE에서 진행중인 SPI 프로젝트 중 고온초전도 전력케이블 개발을 위하여 다음과 같이 2개 연구개발그룹을 구성하여 진행중이다.

- 1 Group : Pirelli Cables & Systems North America, ASC(초전도도체), Detroit Edison, EPRI (주관), Lotepro로 구성
- 2 Group : Southwire(주도), IGC, EURUS Southern, Southern California Edison, Georgia Transmission, ORNL, ANL로 구성

이와 같이 케이블업체에서의 제작과 전력회사의 이용, 이를 위한 정부지원 등 정부(DOE)와 각각의 관련기업이 유기적인 상호 협력체계를 구성하여 연구개발을 진행하고 있으며, 최근에는 Detroit 변전소 내에 120m의 케이블을 설치하여 Detroit 시에 전력을 공급할 계획을 진

행중이며 Southwire Cable Co.는 Carrollton의 공장 내에 30m 3상 시스템을 설치하여 공장 내의 전력공급용으로 사용하고 있다.

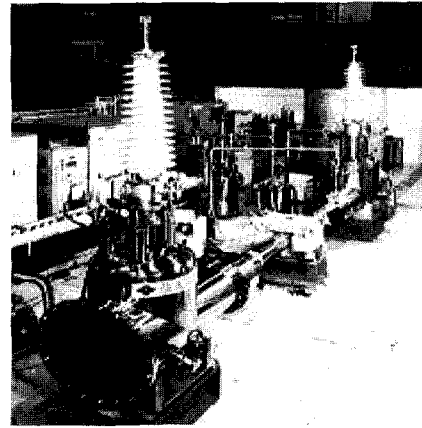
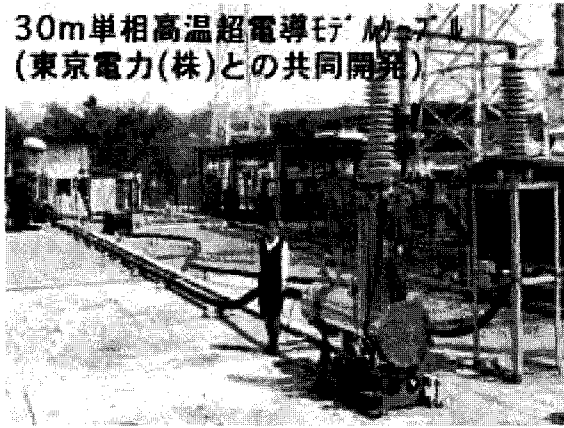
일본은 통산성의 New Sunshine 계획의 일환으로 초전도케이블 개발을 정부, 도쿄전력, 추부전력 등 전력회사와 Sumitomo, Fujikura 등 일본 내의 6대 전선업체 및 CRIEPI, ETL, ISTECH 등의 정부연구소가 공동으로 진행하고 있으며 2010년부터 설치를 시작하여 2050년까지 700~1,000km의 실계통 설치를 계획하고 있다.

그림 6은 일본의 동경전력과 Sumitomo 전공이 공동으로 개발한 30m급의 Proto-type 고온초전도 케이블로서 100MVA 용량의 통과전 시험이 진행되었으며 냉각 특성, 기계적 특성 등 각종 특성 평가가 이루어졌다.^{(4),(5)}

유럽은 BRITE/EURAM(11Basic Research in Industrial Technologies for Europe/European Research on Advanced Materials) Project에 의해 저손실, 대용량 케이블개발을 SUPERPOLI Project에 의해 여러 기관이 공동 참여하여 진행하고 있으며, 1998년부터 2001년까지 50여개 기관을 하나의 초전도전력용 관련 유럽연구자 Network을 구성하기 위하여 SCENET-POWER를 프로그램도 진행중이다.

표 5는 고온초전도케이블에 대한 세계 각국의 개발 현황을 요약한 것이다.^{(6),(7)}

또한 1997. 4. 15~16 이탈리아에서 개최된 International Workshop on High-Tc Superconducting Power Transmission Cables[IEA(International Energy Agency) Implement Agreement for a Cooperative Programme]에서 보는 바와 같이 미국, 일본과 독일, 이탈리아 등 유럽의 전력회사와 케이블회사가 협력하여 초전도케이블의 실용화를 전제로 하여 많은 연구개발을 진행하고 있으며 금명간에 실계통에 적용한 실증시험을 계획하고 있다.⁽⁸⁾



〈그림 6〉 고온초전도케이블 시스템 및 단말(도쿄전력)

나. 국내의 연구동향

1986년부터 한국전기연구소에서는 초전도케이블 개발

에 필요한 요소기술을 개발하여 왔으며 특히 1988년부터

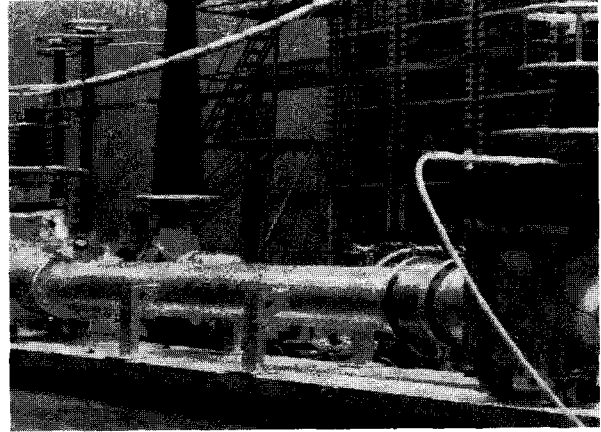
1991년까지 액체질소에서 운전되는 154kV 800MVA급

〈표 5〉 대표적인 세계의 고온초전도케이블 개발 현황

연구 기관	용 량	주 요 사 양	연 구 상 황
도쿄전력 -住友電工 (일본)	66kV 1kA	<ul style="list-style-type: none"> •관로직경 : 150mm •코어직경 : 130mm •Bi2223테이프-62본을 4층으로 Spiral적층, Pitch:700mm •Former: 알루미늄케이트관 	<ul style="list-style-type: none"> •7m 시험케이블에서 3상 교류통전시험 •교류손실 : 3.3W/m/cct •AC 66kV 1000MVA의 용량 •길이 300m, 외경 130mm의 케이블시스템 개발을 목표로 진행중
도쿄전력 -古河電工 (일본)	66kV 2kA	<ul style="list-style-type: none"> •OPPL紙절연 •관로직경 : 124mm •코어직경 : 60mm •Bi2223다층 Spiral 적층 	<ul style="list-style-type: none"> •5m 케이블 통과전 시험 •線間 66kV(對地 38kV) 과전하에서 2kA Peak의 연속통전(15분간) 55m케이블통전(2kA) •AC 66kV 1,000MVA 케이블시스템 개발을 목표로 진행중
SIEMENS	110kV 400MVA	<ul style="list-style-type: none"> •코어직경 : 125mm •Bi2223테이프-50본 적층 	<ul style="list-style-type: none"> •10m 시험케이블에서 직류 3,000A 통전시험 •AC 110kV 400MVA 케이블시스템 개발을 목표로 진행중
PIRELLI	132kV 2.2kA	케이블, Termination 중간접속 등 실용화를 고려한 시스템구성	<ul style="list-style-type: none"> •115kV 시험용 시스템 구성 및 실험 •미국의 DOE, EPRI, ASC와 공동으로 진행
Southwire Co.(USA)	12.4kV 1250A	<ul style="list-style-type: none"> •'95, '96 재료연구 •'97 4.5m 케이블시험 •Bi2223테이프 사용 	<ul style="list-style-type: none"> •12.5kV, 1250A, 4.5m 케이블시험 •ORNL과 공동연구 •'99년까지 3상 12.4kV, 1250A, 30m 케이블시스템 개발연구중
Denmark	132kV 1968A	Danish Superconducting Cable Project 진행중	<ul style="list-style-type: none"> •RISO(도체), NKT(코어제작), Technical Univeristy of Denmark (케이블설계, 제작), DEFU(응용연구) •2000년까지 3상 10m 케이블시스템 개발중
BICC Cables (영국)	220kV 1GVA	'89년부터 연구시작 10kA DC Cable 시제작 및 통전시험	<ul style="list-style-type: none"> •Wrexham Technology Centre(UK, 도체개발), Erith Technology Centre(UK, 고전압부품, 경제성평가), BICC Ceat Cavi(Italy, 케이블설계, 제조), MM Cables(호주, 장치도체 제작기술) •1GVA AC Cable 400MVA DC Cable(GHe사용)개발을 목표로 연구 진행중
ISTEC		초전도케이블 feasibility연구 제안	
CRIEPI		케이블 시정수, 계통안정도 등의 계통적용 연구	

기술동향

극저온저항케이블의 연구개발을 진행하여 5m의 극저온 모의 송전시스템의 개발과 89kV, 3,000A 통·과전시험을 완료하였다(그림 7 참조).⁽⁹⁾ 또한 1994년부터 1997년까지 고온초전도도체와 유사한 기계적 특성을 갖는 Nb₃Sn 초전도도체를 사용하여 154kV, 3GVA급 저온초전도 케이블연구를 진행하여 초전도케이블의 설계기술을 확보하고 극저온 관로 등 초전도케이블연구에 필요한 기반요소기술을 구축하였으며 현재는 고온초전도 전력케이블에 대한 개념설계와 계통적용 방안 등을 연구하고 있다.⁽¹⁰⁾



〈그림 7〉 154kV 800MVA급 극저온 저항케이블 송전시스템

5. 결론

고온초전도 전력케이블은 초전도현상의 발견 이후 가장 이상적인 송전방식으로, 이후 급속한 고온초전도 도체 기술의 발전과 함께 고온초전도 전력케이블은 전력계통 도입효과가 매우 크고, 고온초전도기술의 전력 응용분야 중 가장 기대되는 기술로서 가까운 장래에 실계통 적용이 이루어질 것이다.

국내의 경우도 전력수요가 대도시로 집중됨에 따라 초전도케이블의 필요성이 더욱 증가할 전망이다. 국내의 전력수급 상황을 고려할 때 서울, 부산 등의 대도시에서의

적용 필요성은 외국보다 더 큰 것으로 예측되고 있다.

따라서 고온초전도 전력케이블의 실용화를 위하여 고온초전도도체의 전류밀도 향상, 교류손실 저감, 저온절연 등 기초 및 재료 측면에서의 연구개발과 함께 단계적으로 극저온관로, 냉각시스템, 단말 및 접속재, 운전기술 등 시스템으로서의 연구·개발을 병행하고, 소규모시스템 실증시험을 통한 신뢰성 확보 등이 필요하지만, 국내에서의 초전도케이블에 대한 연구개발 현황은 아직 미흡한 실정으로 이의 연구개발이 시급히 이루어져야 할 것이다. ❧

참고문헌

- (1) 산업자원부 전력심의관실 "전력분야통계", 1998
- (2) T.Shibata, J.Fujikami, S.Isojima, K.Sato,H.Ishii, T.Hara.: Development of 3-phase 1kA class high Tc superconducting power cable prototype, *Advances in Superconductivity VIII, Springer-Verlag, Tokyo (1996) 1303*
- (3) 末次將寛, et al : 交流高온超電導ケーブルによる地中送電系統の經濟性計算, 電氣學會 全國大會 1994, 1578
- (4) 漆田, et al : 高온超電導ケーブルプロトタイプの三相交流電特性, 電氣學會全國大會 1996, 1694
- (5) 三浦, et al : 66kV級高온超電導モデルケーブルの課通電試験, 電氣學會電力・エネルギー部門大會 1995, 481
- (6) Aldo Bolza, et al "Recent Developments in HTS Power Cable Applications" IEEE Trans. on Appl. Supercond. Vol. 7, No.2, pp339-344, 1997
- (7) K. Sato, et al "HTS Large Scale Application Using BSCCO Conductor" IEEE Trans. on Appl. Supercond. Vol. 7, No.2, pp345-350, 1997
- (8) International Workshop on High-Tc Superconducting Power Transmission Cables, IEA Workshop, April 1997
- (9) 류강식 외 : 극저온저항케이블의 개발, 전기학회논문지 41권 6호, 1992
- (10) 조전욱 외 "고온초전도 전력케이블설계 및 계통적용", 초전도·저온공학회 학술대회 논문집, pp129-133, 1999