

超電導 技術研究 開發現況과 展望

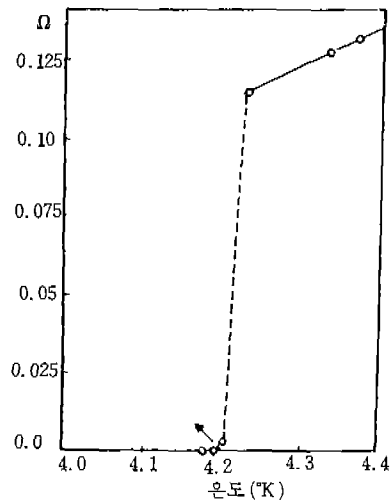
The Present Status and the
Prospect of Superconductance
Technology Research
Development

權 泰 遠

韓電技術研究院 系統研究室 給電擔當役

1. 序 論

1911년 베덜란드의 Kamelign Onnes 교수는 그림 1에서와 같이 액체 He을 사용하여 4.2°K 전에는 수은전기저항이 온도가 감소함에 따라 선형적으로 감소하는데 반해 4.2°K 근방에서는 갑자기 수은전기저항이 영으로 되는 현상을 발견하였다. 이러한 현상을 초전도 현상이라하며 이 현상을 발견한 이래 꾸준히 연구가 계속되어 물리적 특성은 해석하였으나 공학적 응용가능성을 지닌 것을 발견하지 못해 초전도 실용화는 좀처럼 이루지 못했다. 그후 1950년에 이르러 J. E. Kunzler가 고임계자계 고임계온도 재료를 발견함으로써 초전도는 실용화 단계로 접어드는 획기적인 계기가 되었으며 미국의 Z. J. Steckey 등이 처음으로 MHD 발전에 사용할 수 있는 초전도 자석을 제작하기에 이르렀다 이 초전도에 의한 고자계 발생 고전류밀도의 통전은 전기기기분야, 대전력송전을 위한 전력수송분야, 대형초전도 코일에 의한 전력에너지 저장등 대규모 전력분야는 물론 초전도 반도체인 Josephson 소자를 이용 전자계산기의 스위칭소자 각종 측정장치등의 소규모 응용분야에도 응용할 수 있는 전기가 되었다. 이에 초전도의 공학적응용이 활발해짐에 따라 초전도 응용기술 이해를 제고하고자 초전도의 기초이론, 특성, 초전도 전력분야에서의 응용 및 개발연구전망등에 대하여 소개하고자 한다.



〈그림-1〉 H. K. Onnes가 1911년 조사한 Hg의 전기적 저항

2. 超電導 理論

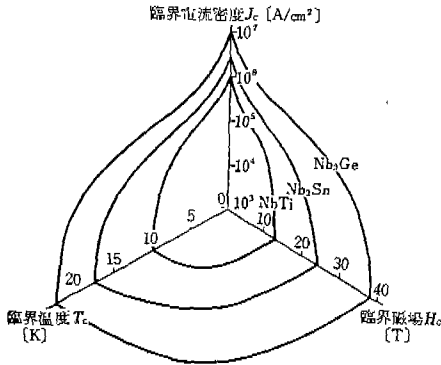
서론에서는 현상적인 측면에서 초전도이론을 살펴보았지만 여기서는 양자역학적인 측면에서 초전도이론을 고찰한다. 정상상태에서 도체가 초전도체로 되는 것은 냉각에 의하여 액체가 고체로 되는 것과 비슷한 일종의 응축상태로의 相轉移이다. 액체에서 고체로 변화에 있어서는 그 구성원자의 배열이 규칙성을 이루게 되는데 초전도의 경우에는 전자계가 질서정연한 상태로 되어 系전체로서 정상상태보다 낮은 에너지상태를 이루게 된다. 극저온에서 초전도 상태를 이루는 모든 물질의 전도전자는 전자-격자(Lattice)간의 상호작용을 통하여 반대방향의 운동량과 스핀을 갖는 두개의 전자가 양자를 사이에 두고 인력을 끼치어 雙(Cooper-Pair)을 형성하고 일종의 Bose응축상태를 이룬다. 온도가 상승하면 이들 雙의 일부는 여기되어 일반적인 전도전자적인 준전위(Quasi-Particle)로 된다.

정상적전도에서는 전자쌍이 서로 강한 상관관계를 갖게 되며 전체적으로 보아 질서 정연하게 이동하여 전류에 기여하게 된다. 이것이 초전도에 있어서의 완전전도성, 완전반자성 자속양자화등의 독특한 특성의 원인이 되는 것으로 해석되고 있다. 즉 초전도상태에서는 모든 전자쌍을 하나의 전자로 간주할 수 있다. 이러한 이론은 Bardeen, Cooper 및 Schrieffer에 의해서 정립되었다. 이 이론을 3사람의 이름 첫자를 따서 B. C. S이론이라고 한다. Cooper이 이론정립당시 Illinois 대학의 대학원생으로 Bell 연구소의 Bardeen지도하에 금속중의 전자 상호작용을 연구하고 있었다. 이때 상호간에 斥力이 작용해야할 전자간에 引力이 작용하는 경우가 있음을 발견했다. 이 現象은 쿨롱의 힘을 부인하는 현상으로 불가사의한 현상이 아닐 수 없었다. 그래서 Bardeen, Schrieffer 등이 토론한 결과 이 상태에서는 전자가 들쭉 붙어다닐을 발견했다. 이 두 개의 전자가 결합된 것을 현재 Cooper Pair이라 부르고 있다. 상전도상태에서는 한자리에 한개의 전자만이 들어가는 것이 허용될 뿐인데 초전도 상태에서는 두개의 전자결합체인 Cooper Pair는 얼마든지 들어갈 수 있다는 것이다. 초전도상태라는 것은 전자가 Cooper Pair가 되고 있는 상태로서 한쪽 전자의 충돌로 일어나는 저항이 동시에 일어나는 다른 쪽 전

자에 의해서 상쇄됨으로서 전혀 저항이 일어나지 않는다는 것이다. 이 현상은 그 도체가 어떤 임계온도 이하가 되어야 비로서 일어나며 온도가 그 임계온도 이상으로 올라가면 Copper Pair는 깨어져 상도체가 되어 버린다. 그러면 이제 초전도의 특징을 살펴보자 초전도기술은 전기의 근본원리적인 면을 다루는 신기술로서 1948년 전자기술계에 트랜지스터가 탄생한 것과 흡사하게 전자기술발달에 혁신적인 변혁을 줄 것으로 생각된다. 초전도특성을 이해하려면 양자역학을 도입설명해야 가능하지만 여기서는 크게 4가지를 열거하면 아래와 같다. ①전기저항이 없다. ②대전류를 흘릴 수 있다(동선10"배) ③강자계를 발생시킬 수 있다. 에너지 절약관점에서 전자기계를 초전도체로 제작할 경우 저항에 의한 발열을 없게할 수 있으며 대전류를 흘릴 수 있다는 특징은 도체단면적을 작게할 수 있을 뿐만 아니라 강자계의 발생이 가능하기 때문에 자석에 철심을 쓰지 않아도 되므로 기기의 경량화를 이룩할 수 있다. 또 초전도의 영구전류 특징은 상도체 코일에 전압을 가해서 전류를 흘린 후 전원을 분리시키는 순간 전류는 소멸해 버리지만 초전도체로 만든 코일에는 저항이 영이되어 시정수는 무한대로 되기 때문에 영구적인 전류를 흘릴 수 있게 된다. 이 성질을 이용해서 전기에너지를 저장하려는 연구가 진행되고 있다. 또한 소규모적용에는 두초전도체 사이의 포텐셜벽이 낮다면 Cooper Pair의 Tunneling이 가능하다는 Josephson 효과를 이용하여 소규모응용에 실용화 연구를 진행하고 있다.

3. 超電導 材料

초전도 현상을 순수물질 Hg에서 발견한 이래 거듭된 연구결과로 많은 초전도물질을 발견하였다. 그림 2에서 보는바와 같이 초전도현상은 마치 물이 얼으면 얼음이 되는 것과 같이 어떤 조건이 만족되어야만 상도체에서 초전도체로 전이하게 된다. 이 조건은 자계, 온도 전류밀도이고 그 전이되는 점을 각각 임계자계 임계온도 및 임계전류밀도라 부른다. 이중 하나라도 임계점을 넘어가면 초전도성은 상실하고 만다. 표 1은 순수초전도물질로 임계온도 및 임계자계가 낮아 작은 자계 침입으로도 초전도성을 잃게되기 때문에 공학적응용이 불가능하였고 1954



〈그림-2〉 초전도물질의 자계, 온도, 전류밀도와 관계를 나타내는 입체적 모양

〈표-1〉 각종 원소의 Tc

元 素	Tc(K)	元 素	Tc(K)
Al	1.183	Ru	0.49
Ga	1.087	Ta	4.39
In	3.407	Tc	8.22
In	0.14	Tl	2.38
Ir	4.80	Th	1.368
La	7.23	Tl	0.42
Pb	4.153	W	0.012
Hg	0.915	U	0.68
Mo	9.17	V	5.3
Mb	0.655	Zn	0.852
Os	1.70	Zr	0.546
Rc			

〈표-2〉 제 2 종 초전도체의 Tc와 Hc

目 科 名	Tc (K)	Hc (4.2K)
(化合物)		
Nb ₂ Sn	182.	24T
V ₃ Ga	16.8	21
Nb ₃ (Al _{0.3} Ge _{0.2})	20.7	41
Nb ₃ Ge	~23	
Nb ₃ Al	17.5	30
(合金)		
Nb-Zr	~10	~7
Nb-Tl	~9	~12
Nb-Z ₁ Ti	~10	~10
Nb-Z ₁ Ta		~12.5

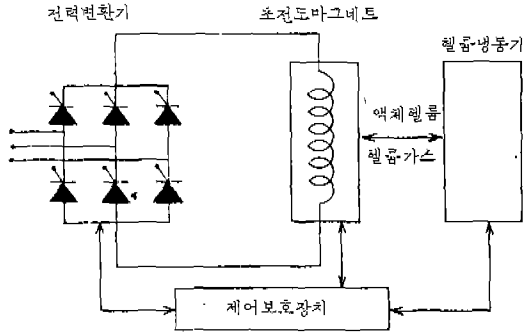
년에 이르러 B. T Mathius 등이 순수물질이 아닌 Nb₃Sn이라는 화합물이 초전도성의 가짐을 발견함으로써 산업계 적용의 계기를 마련하였다. Nb₃Sn과 같은 초전도 재료는 다른 원소금속의 초전도와는 그 현상이 다르기 때문에 별도의 이론적배경 설명이 요구된다. 단일금속으로 이루어진 것을 제 1종 초전도체라하고 합금 및 화합물로 이루어진 재료를 제 2종 초전도체(표 2)라 한다.

4. 超電導의 電力分野에서의 應用

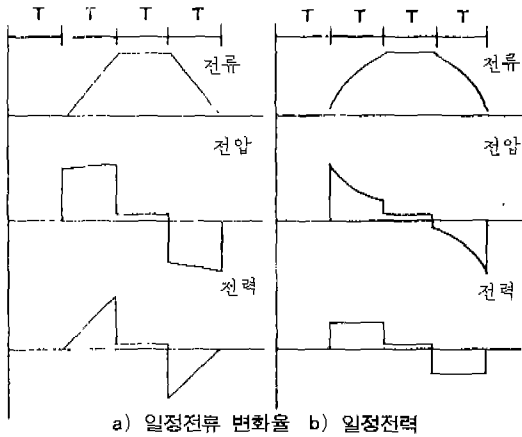
상술한 바와같이 초전도선을 이용하여 고자계 발생 영구전류통전 및 고밀도전류통전은 대규모 전력 분야에서 볼 때 매력적이지 아닐 수 없다. 현재 전기 기기는 전류자속 상호 작용에 의하여 동작되는데 이들의 자속한계는 1.5(Tesla) 전류밀도한계는 10²-10³ (A/cm²)가 된다. 이것을 초전도화하면 자속밀도는 20(Tesla), 전류밀도 10¹³ (A/cm³)까지 증대시킬 수 있고 저항이 없어 코일시정수가 무한대로 되어 영구전류를 흘려 전력을 저장할 수 있다. 이것은 마치 트랜지스터 발전으로 현대과학에 혁신적인 영향을 미친 것과 같이 전기응용분야에 혁신적인 진보를 이룰 것으로 보며 다음은 초전도 전력저장, 발전기, 초전도송전 기타응용등에 대하여 기술하려한다.

가. 초전도에 의한 전력에너지저장

산업발달과 생활수준 향상에 따라 현재의 심야전력은 주간과의 차이가 점점 증가 추세에 있어 전력의 합리적인운용을 위하여 전력에너지 저장장치가 당연히 요구된다. 현재 양수발전소가 이 역할을 담당하고 있으나 이 저장방식은 비교적 효율이 낮고 입지환경의 어려움등의 문제점을 가지고 있다. 따라서 고효율의 새로운 전력저장장치의 개발이 시급히 요청되고 있으며 이러한 문제점을 해결하기 위하여 새로운 전력저장기술인 초전도에너지저장장치(Super Conducting Magnetic Energy Storage)에 대한 연구가 선진각국에서 활발히 진행되고 있다. 이 장치는 효율이 높고(90%이상) 속응성이 우수하여 대규모 전력 저장에 있어 양수발전방식보다 유리한 장치로 평가되고 있다. 다음은 이장치의 원리 운용 및 장래 전망등에 대해 기술한다.



〈그림 - 3〉 초전도저장 장치의 구성



〈그림 - 4〉 전력저장용 총방전방법

그림 3에서 보는 바와같이 초전도 전력저장은 송전선과 연결되어 있는 전력변환기와 직류에너지로 저장하는 초전도마그네트 및 초전도상태를 유지시켜 주기위한 냉각시스템으로 구성된다. 전력변환기를 싸이디스타로 사용하기 때문에 점호각 변화에 의하여 저장모드($\alpha: 0^\circ \sim 90^\circ$)와 방출모드($\alpha: 90^\circ \sim 180^\circ$)를 자유롭게 조정할 수 있으며 또 속응성이 우수하다. 초전도마그네트는 주로 제 2종 초전도체(Nb-Ti, 또는 Nb₃Sn)를 사용 솔레노이드 형태로 잡아 전력에너지($1/2LI^2$)를 직접저장한 후 계통과 분리한 후 무저항 영구모드회로를 만들어 전류를 순환시켜 영구히 전력을 저장할 수 있는 장치다. 그림 4에서는 전력저장의 총방전 방식으로 일정전력 및 일정전력 방식이 있으나 후자의 운용방법이 간단하여 이 방식을 채택한다.

연구개발현황

〈미국의 연구현황〉

SMES에 의한 대규모 에너지저장장치 연구개발은 미국의 위스콘신대학과 로스아라모스 과학연구소(LANL)에 주로 행해왔으며 특히 BPA의 타코마 변전소는 30MJ SMES를 제작하여 전력계통에 적용 그 성과를 보고한바 있다. 표 3은 위스콘신대학 1000MWh와 10000MWh의 SMES개념설제한 사양을 나타낸 것으로 양수발전소 규모 SMES 코일직경이 96m와 206m의 대규모코일로 그 힘이 막대하기 때문에 지금까지의 연구결과를 토대로 가장 경제적이며 기술적으로 가능한 모델은 직경에 비해 높이가 낮은 LAR-마그네트형태로 이 초전도마그네트를 지하에 매설하는 방식을 제안하였다. 또한 EpRi에서는 각 연구소에서 수행한 연구내용을 바탕으로 5500MWh 용량을 선정하여 코일의 모양 터널의 형태 및 향후 발전 추이에 따른 경제성을 평가한 바 있다.

〈표 - 3〉 SMES의 개략사양

	1,000 MWH	10,000 MWH
자속 밀도	5 T	5 T
도체 온도	1.8°K	1.818°K
코일 직경	96 m	206 m
코일 높이	48 m	103 m
도체 직경	8 cm	8 cm
도체 재료	NbTi Cu Al	
코일 권수	1,968	3,660
인닥탁스	157,000 H	157,000 H
사용 Al 량	8,000 t	36,000 t
액체 He 량	$1.25 \times 10^6 \ell$	$6 \times 10^6 \ell$
총 반경 방향 응력	$1.15 \times 10^{11} N$	$5.32 \times 10^{11} N$
총 축 방향 응력	$1.10 \times 10^{11} N$	$5.10 \times 10^{11} N$
Nb-Ti 중량	160 t	710 t

〈일본의 연구현황〉

일본은 1969년 구주대학교에서 SMES의 이론 연구를 시작한 이래 1975년경에 고에너지연구소 전자기술종합연구소에 의하여 1-10MWh 개념설계 및 코스트를 제시하였고 특히 정부 및 민간기업연구소 주도로 활발한 연구를 진행하고 있다.

나. 초전도발전기

전력수요의 증가에 따라 대단위 용량발전기에 대한 요구가 점차 높아가고 있으나 냉각기술, 재료의 강도등의 문제로 발전기의 단위용량 한계점이 나타나고 있다.

한편 대형기(1000MVA)이상으로 갈수록 동기리액턴스가 증가계통의 안정도가 떨어지는데 이것을 방지하기 위하여 공극을 증가시켜야 하고 공극을 증가시키면 계자의 기자력이 커져야하고 따라서 계자 권선의 손실이 증가하여 발전기전체의 효율이 떨어져 대형기의 이점이 낮아진다. 또 회전자의 원심력과 진동 때문에 최대단위용량은 보통2000MVA에서 제한된다. 발전기의 출력전압 및 발전기 현장조립 등의 문제는 대형기의 문제점으로 지적되어 왔고 이러한 문제점을 해결하기 위하여 현재의 발전기구조 및 재료로는 불가능하다는 것이 예견되었고 이에 대한 해결방안으로 초전도 계자권선을 가진 발전기가 제안되었다.

현재 초전도 발전기의 원리를 실증하기 위하여 소형발전기를 시험제작하였고 이제 그 실용성이 확실히 입증되어 프로토타입기의 제작단계에 이르렀다. 초전도 교류발전기에는 여러종류의 구조가 있는데 본 소개에서는 현재 가장 많이 개발되고 있는 2중차폐형 단일회전자 발전기의 구조, 특징 및 현재의 개발 현황을 간단히 설명한다.

〈발전기의 구조〉

초전도교류발전기는 회전계자형으로 되어 있기 때문에 회전자의 계자권선이 초전도 권선으로 되어있으며 전기자는 현재의 교류발전기와 같이 고정되어 있다. 그림 5는 초전도교류발전기의 단면도를 표시한 것이다.

〈회전자〉

초전도계자권선은 속이 빈 지지동관 위에 여러개의 형편을 조립하여 이루어지는 도선으로 Nb-Ti필라멘트를 꼬아서 동마트릭스내에 넣은 초전도 선을 사용한다.

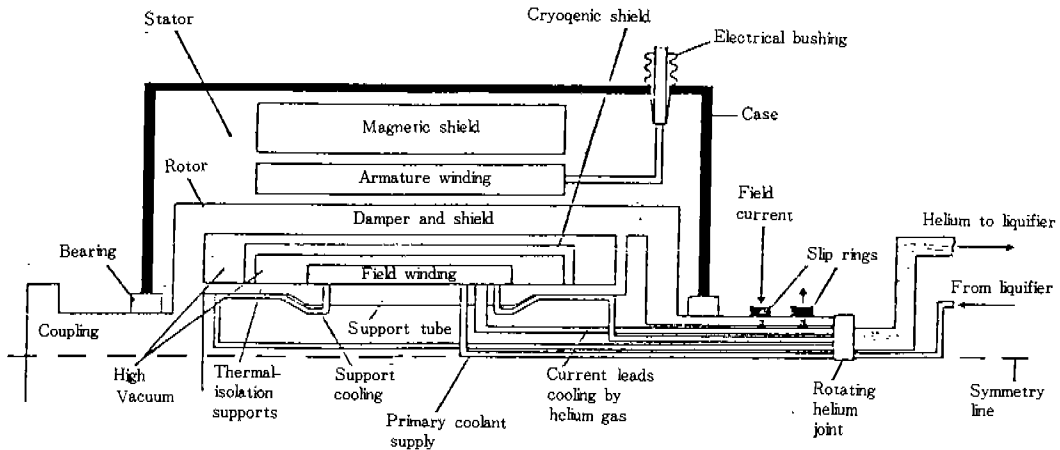
계자권선은 약 4 - 5°K의 극저온으로 유지되어야 하는데 이것은 회전자축을 통하여 들어오는 액체헬륨으로 냉각된다. 초전도선의 전류밀도는 보통 100 ~ 150A/mm² 정도이고 회전자 중심부에서의 자속밀도는 5 - 7 Tesla 정도이다. 계자권선과 회전자 권선간의 간격이 매우크기 때문에 전기자 권선의 자속밀도는 1 - 1.5Tesla 정도가 된다. 그리고 초전도코일을 열과 자계로부터 보호하기 위하여 열차폐막과 자기차폐막을 가지고 있다.

〈전기자〉

계자권선의 기자력이 매우 크기 때문에 전기자 권선에 필요한 1 - 1.5Tesla의 자속밀도를 얻기 위하여 자기회로에 자성체를 사용할 필요가 없다. 그러므로 전기자 구조가 현재의 발전기와 매우 다르게 되어 있다. 유소강판의 치가 없이 제철내부에 끼여 넣게 된다. 전기자권선은 현재의 발전기와 같이 동선을 사용하고 냉각은 물론 한다.

초전도 발전기의 특징

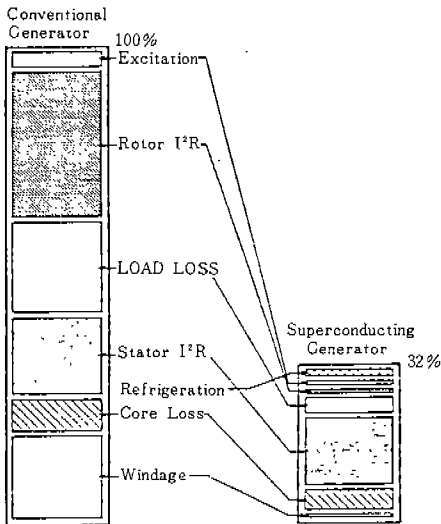
초전도발전기 이점은 1) 효율향상 및 에너지절약 2) 전력계통안정도향상 3) 단자전압의 고압화 4) 소형경량화 5) 가격저하등을 들 수 있다



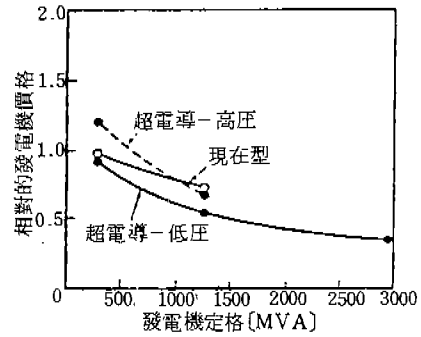
〈그림- 5〉 超電導 交流 發電機의 断面圖

제자권선을 초전도선을 사용하기 때문에 제자저항 손이 거의 없으며 또 회전자 길이가 축소되어 기계손의 저감이 가능해져 효율이 향상된다. 전부 효율은 0.5-1 (%) 정도 개량이 가능하다.

그림 6은 1200MVA급 중래발전기와 초전도발전기의 손실을 나타낸 것으로 초전도 발전기의 손실은 중래기의 32-48% 정도이다. 또 제자권선의 기자력이 증대되어 자속밀도가 높아 고정자는 코일부에 철심이 없는 전기자권선(Air Gap Winding) 구조를 채용한다. 이 결과 저 리액턴스가 되어 개로시정수T' do 대단히 크게 된다. 표 4는 초전도기와 중래기와의 전기적 특성을 표시하고 있다. 또 초전도기를 사용하면 전력계통의 여러가지 특성이 양호해진다. 첫째로 동기 리액턴스가 매우 작기 때문에 정격MVA내에서 정태안정도에 제한이 없고 또한 과도리액턴스가 적기 때문에 CFCT(탈조한계시간)가 크게 되어 계통고장에 대해 계통과의 동기성이 좋아져 과도안정도가 개선된다. 초전도발전기의 제조단가는 그림 7에서 보면 저압초전도발전기는 300MVA급에서 고압초전도 발전기는 1200MVA급에서 그 제조단가가 현재 발전기보다 저렴하게 된다. 길이 중량에 있어서도 기존기보다 1/3로 감소 수송비 및 건물공사비 절감등을 피할 수 있으며 전기자권선은 Slotless로 되어 전기적절연이 용이하여 중래기에 비하여 높은 단자전압을 얻을 수 있다.



〈그림 - 6〉 1200MVA 저압교류발전기의 손실비교



〈그림 - 7〉 각종 발전기의 제조가격 비교

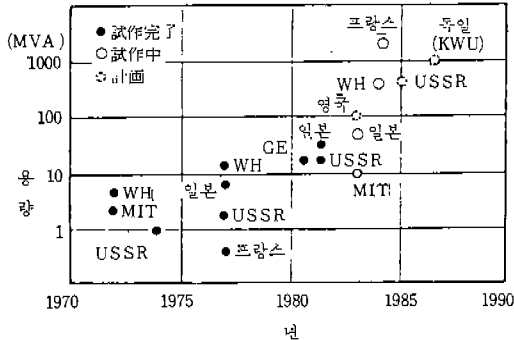
〈표 - 4〉 1200MVA 초전도발전기의 電氣的 特性

形 式	超電導形	現在形
電 壓 (kV)	29	26
X_d	0.221	1.810
X_d'	0.151	0.320
X_d''	0.082	0.260
$l_2^2 t$	15	7.5
l_2	0.100	6
CFCT (cycle)	16.0	12.75
損失 (冷凍機포함) [kW]	4.433	15.276
効 率 [%]	99.590	98.590

〈초전도교류발전기의 개발현황〉

초전도교류발전기는 1960년 후반에 들어와 미국에서 처음으로 시험제작에 들어갔다. 그후 소련 일본등에서 개발에 착수하여 현재 일본에서는 50MVA급 발전기 미국에서는 300MVA급 발전기가 시작중에 있다. 미국에서는 MIT공과대학이 이 발전기 연구에 선도적인 역할을 하고 있는데 1969년에 45KVA, 1973년에 3MVA를 제작시험 하였고 현재 10MVA발전기를 試作중에 있다. 또한 U·H는 1973년에 5MVA 1978년에 10MVA를 제작하였고 현재 EPR의 지원을 받아 용량 300MVA 2극 60HZ, 24KV: 길이 3.5m 폭3.4m 높이6.4m 중량 159ton 회전자 직경 1m 발전기를 제작중에 있으며 1984년 시험에 들어갔다. G.E사에서 20MVA기를 제작한 바 있다. 소련은 1970년대에 1MVA, 2MVA발전기를 개발한바 있으며 1980년도 초에 미국 G.E사와 공동연구하여 20MVA동기조상기를 제작 시험을 마쳤다. 또 프랑스에서는 알스톰사가 EDF의 지원

을 받아 직경 1m 모델회전자를 완성하여 1980년도부터 2년간에 걸쳐 기술시험을 마쳤다. 일본에서는 미쯔비시 및 후지에서 통산성, 중요기술개발보조비로 1974년부터 3년간 6MVA 초전도 발전기를 시작하여 초전도발전기 원리실증의 기본적인 문제를 다루었다. 이와 별도로 현재 히다찌에서는 50MVA 발전기가 개발되고 있다. 아래 그림은 각국의 초전도 발전기 개발현황을 표시한 것이다.

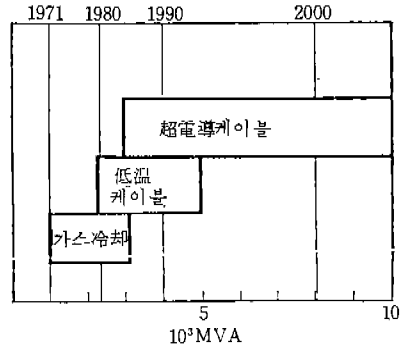


〈그림-8〉 초전도 발전기의 개발현황

이러한 추세로 볼 때 초전도 교류발전기는 성능 및 경제성이 현재 발전기보다 우수하여 세계의 선진각국에서 다투어 개발하고 있으며 1990년대에는 수1000MVA 급 초전도 발전기의 실용화가 확실시되고 있다.

다. 초전도 송전

매년 증대되는 전력수요로 인하여 대용량 발전소가 증대되고 현재 지하케이블사용이 점점 요구되는 실정인바 대용량전기에너지를 운송하는데 있어 송전루트 확보는 큰 문제점으로 등장하고 있다. 따라서 전력수송에도 대전류, 고자계를 이용한 고밀도화의 방향을 택하지 않을 수 없다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 신송전방식의 실현이 요구되는데 전력회사에서는 수송전력이 크고 경제성이 있는 수송방식을 택하여야 한다. 현재 초전도 기술 발달로 인하여 초전도송전방식이 제안되고 있다. 이 방식은 직류송전인 경우 수송손실이 거의 없고 병동시스템을 포함하여 볼 때도 경제성이 있다. 장래 지하케이블 전선의 발전추이는 그림9에서 보는 바와 같이 송전용량 증대로 대규모로 실시되는 시대가 1980년대 중반기에 실현될 것으로 보인다. 현재

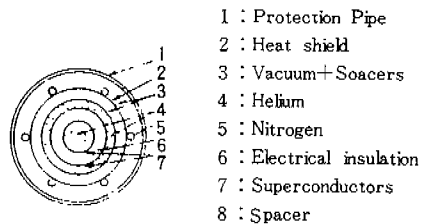


〈그림-9〉 지하케이블 송전樣式의 推移豫想

송전루트의 결정의 어려움 고밀도등의 요구가 많은 도심지 단거리 지하케이블에서 이 송전방식의 적용이 기대된다.

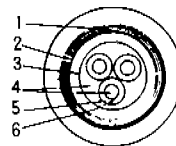
〈송전케이블〉

초전도 케이블을 대별하면 DC와 AC 2종류가 있고 그림10은 DC케이블 구조의 일례를 표시한 것으로 초전도선재는 Nb 또는 Nb-Ti, Nb₃Sn 선등으로 구성된다. 일반적으로 Nb-Ti도체의 임계전류밀도 5×10⁶A/cm² Nb₃Sn도체의 경우는 약 10⁶A/cm²이다. 그림11은 초전도AC케이블 일례를 표시한 것으로 AC케이블은 교류에 의한 초전도체의 손실 전기절연체의 유도손실이 발생하기 때문에 발열손실은 DC케이블의 약 2배정도 된다. 표5에서 보는 바와 같이 초전도 교류송전연구에 주력을 두고 있다. 초



- 1 : Protection Pipe
- 2 : Heat shield
- 3 : Vacuum+Soacers
- 4 : Helium
- 5 : Nitrogen
- 6 : Electrical insulation
- 7 : Superconductors
- 8 : Spacer

〈그림-10〉 DC케이블 구조



- 1 : Thermal insulation
- 2 : Heat Shield (80K)
- 3 : Helium pipe
- 4 : Helium
- 5 : Electrical insulation
- 6 : Superconductors
- 7, 8, 9 : Inner conductors

〈그림-11〉 AC 케이블 구조

〈표-5〉 Development of SC

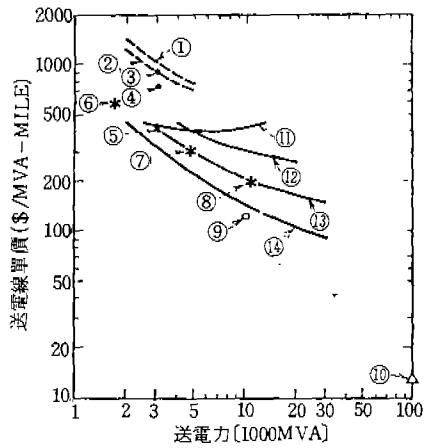
회사명	SIMENS (서독)	BICC (영국)	CGE (프랑스)	BNL (미국)	UCC (미국)	古河 (일본)
송전방식	AC	AC	AC DC	AC	AC	AC DC
목표전압 (KV)	110	35	125±100	138	138/230/345	154±75
목표전류 (KA)	10	13	14 20	4	7.1/11.8/17.75	3 33
송전용량 (MW)	2000	750	3000 4000	1000	1690/4710/10590	1000 5000
초전도체 + 안정화재	Nb 와이어 Al, Cu	Nb 튜브 Al	Nb조 Nb-Ti조 Al Al	Nb Sn조 Al	Nb 튜브 Cu	Nb Nb-Ti Cu Cu
실 험 상 황	35일의 모델 제작완료 110kV, 10KA 단상송전 1973년	3m의 단상 케이블 2080A 통 전	18m의 용 기 제 작 1975년완	삼상100m의 테스트장치 3850A의 동전 교류손실측정 계속중	7m의 실험장치 교류손실측정 1975년완	7m의 케이블 동전테스트

전도 직류케이블은 교류손실이 없어 대전류를 흘릴 수 있는 반면 교류계통과의 연계를 위한 인버터 차단기등의 발달기기에 제한이 있다. 현재 전력계통에서 급속히 초전도 송전이 요구되는 곳은 도심지 단거리 송전이기 때문에 장거리 송전에 유리한 특성을 지닌 직류송전보다는 Nb₃Sn등 극세다심화 제작기술 향상 및 선재의 가격하락에 힘입어 초전도 교류송전이 많이 적용될 것으로 전망된다. 현재 초전도송전 방식은 좋은 장점이 있는 반면 신뢰성 안정성을 보다 향상시키기 위하여 극저온 절연기술의 확립이 불가피하며 전기적 특성 이외에도 기계적, 열적문제점을 해결해야 할 것으로 본다.

〈초전도송전의 경제성〉

이상에서 서술한바와 같이 초전도송전은 비교적 근거리 도시주변의 지하케이블에 현재 사용되고 있으며 교류송전방식을 택하여 사용되고 있다. 현재 직류송전은 대용량 장거리 송전에서 교류송전보다 일반적으로 경제성 및 실용성이 있다. 초전도 케이블 경제성을 타송전방식과 비교하여 그림12에 나타났다. 이것에서 초전도송전은 교류, 직류 공히 송전용량이 증대할수록 경제성이 있음을 알 수 있다.

이와 같이 대용량송전 및 지하케이블에 있어서 경제성이 있는 초전도송전은 가까운 장래에 대규모



- ①③ 500kV AC 液体窒素低温送電
- ②④ 500kV AC 液体水素低温送電
- ⑤ AC 超電導送電
- ⑥ 138kV AC 超電導
- ⑦ 230kV AC 超電導
- ⑧ 345kV AC 超電導
- ⑨ 150kV DC 超電導
- ⑩ 200kV DC 超電導
- ⑪ 880kV DC 液体水素低温送電
- ⑫ 220kV DC 超電導送電
- ⑬ 440kV DC 超電導送電
- ⑭ 880kV DC 超電導送電

〈그림-12〉 各送電케이블樣式의 經濟性 (44페이지로 계속)