

電力事業에서의 超電導 應用

임 주 일 · 홍 원 표
(韓電技術研究院 系統研究室)

1. 序 論

1911년 네델란드 K. Onnes 4.2° K 근방에서 갑자기 수은의 전기 저항이 "0"으로 되는 超電導 現象을 發見한 이래 꾸준한 연구가 계속되어 物理的 特性은 해석하였으나 工學的 應用 可能性을 지닌 超電導材料를 발견하지 못해 초전도 실용화는 좀처럼 이루어 지지 못했다. 그후 1960년대 이르러 고임계자계·온도를 가진 초전도 재료 開發에 성공 초전도 실용화 단계로 접어드는 획기적인 계기가 되었으며 미국의 J. Stecky 등이 처음으로 MHD 발전에 사용할 수 있는 초전도 磁石을 제작하기에 이르렀다. 초전도의 특징인 高磁界 發生, 高電流 밀도 通電은 電氣機器, 大電力送電分野, 대형 초전도코일에 의한 전력에너지 저장은 물론 반도체인 Josephson 소자를 이용 전자계산기 스위치소자, 각종측정장치등 소규모 응용분야에서도 적용이 예상되고 있다. 1987. 2월 휴스턴 대학 C. W. Chu 그룹의 발견한 절대온도 98도를 갖는 高温초전도체 발견을 계기로 이에 대한 연구가 집중되어 상온초전도체 물질제조 가능성을 확인함으로써 必야흐로 상온초전도 시대를 예고하고 있다. 이 산화물 초전도체(액체질소냉각가능)발견은 물리학 분야뿐만 아니라 에너지 관련산업인 전기분야의 제2의 혁명이라 일컫고 있다. 그 이유는 초전도의 특징인 超저손실로 高電流密度(10⁵A/cm² 以上)와 高磁界發生을 이용하여 大電力시스템에 적용하면 電氣機器 및 시스템의 高효율화(抵損失化), 小形化, 輕量化 및 大容量化(제조극한 용량

의 확대)가 가능하기 때문에 기기 및 시스템의 抵코스트화와 制限계를 대폭적으로 확대 시킬 수 있다. 그림 1에서 보는 바와 같이 1960년대 제2종 초전도체 개발에

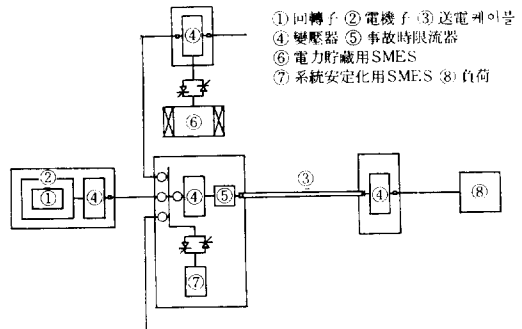


그림 1. 超電導化 適用可能한 電力機器

따라 초전도 발전기 케이블 변압기 저장장치에 대하여 미국, 일본 및 유럽에서 광범위한 연구가 되어 왔으며 현재 초전도마그네트 및 의료용 NMR과 반도체단결정 품제조 장치 등이 실용화되었다. 현재 산화물고온초전도체(질소냉각)에 대한 물리적 메카니즘 규명과 가공 기술에 대한 연구가 집중적으로 진행되고 있는바 이 성과로 실용화의 문제점으로 대두된 저전류밀도, 기계적 강도 등이 해결 된다면 저온초전도체(액화헬륨냉각)의 전력시스템 적용에 있어서의 문제인 신뢰성과 효율(냉각기)등이 획기적으로 개선되어 초전도의 전력시스템 적용은 새로운 전기를 맞은 것으로 생각된다. 따라서 본고는 전력系統관점에서 현재 적용이 고려되고 있는 초

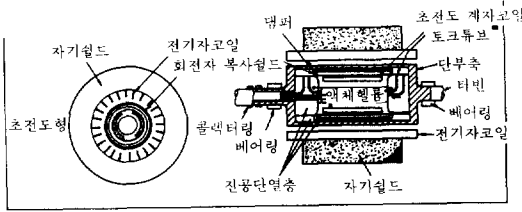


그림 2. 초전도 교류발전기 구조(초전도 계자코일형)

표 1. 소련의 초전도 발전기개발 시험기의 주요 제원

항 목	300MW기	20MW기
발전기 정격[MW]	300	20
운전역율	0.85	0.80
정격전압[KV]	20	3.64
정격전류[KA]	10.2	1.885
회전수[rpm]	3000	3000
주파수[Hz]	50	50
전기장하[A/cm]	2300	1170
고정자권선	1.04	0.95
계자권선의 최대자속밀도[T]	4.4	
정격계자 전류[A]	1140	
권선부 전류 밀도[A/cm ²]	16300	9500
발전기 정수		
동기리액턴스 Xd[pu]	0.35	0.33
과도리액턴스 Xd'[pu]	0.27	0.25
초기과도리액턴스 Xd''[pu]	0.17	0.10
정격중량		
회전자중량[톤]	25	
발전기중량[톤]	150	
전 장[m]	12.0	회전자장 2.5
폭 [m]	5.5	
높 이[m]	7.7	
유 효 장[m]	2.4	
회전자외경[m]	1.08	0.59
고정자내경[m]	1.16	
고정자외경[m]	2.8	
효 율[%]	99.35	97.1
완 성 년	1986	1981
제 작 소	Electrosila	All unisons Inst.

전도용 기술중 가장 중요한 초전도 발전기 에너지 저장장치, 케이블송전, 변압기의 적용가능성과 기대효과 기본구조, 특징 등에 대하여 기술하고자 한다.

2. 초전도 교류발전기

전력수요 증가에 따라 발전설비의 신증설, 송전설비

의 확충 진행되고 있어 이에 따른 전원의 대용량화, 편재화 장거리대용량 송전의 출현으로 다음과 같은 전력계통의 문제점 및 에너지 절약을 위한 기술적인 과제가 대두되고 있는 실정이다.

- ① 발송변전 설비 정격용량증대
- ② 전력계통 안정도 문제
- ③ 전압 안정성 문제
- ④ 설비의 효율·가동율 向上

또한 발전설비 용량증대 요구는 냉각기술 재질의 강도등의 문제점 때문에 단위용량(1000MVA이상) 증대의 한계점이 나타나고 있다. 이와같은 문제에 대하여 현재의 발전기구조 및 재료로는 불가능하다는 것이 판명되었다. 따라서 전력계통에 이용 효과가 큰 초전도발전기의 계통적용은 극히 유효한 대책으로 부각되었다.

초전도발전기의 구조는 그림2에서와 같이 계자권선에 초전도선을 사용한 구조와 최근 교류초전도 선재개발로 계자 및 전기자권선을 초전도화하는 발전기로 대별할 수 있으며 재래식발전기와는 그 구조가 다르다.

현재, 초전도발전기 요소기술을 확립하기 위하여 소형발전기 제작·시험을 완료하였고 실용성이 입증되어 프로토타입기 제작단계에 이르렀으며 소련에서는 표1의 사양과 같이 300MVA발전기를 제작·시험 완료한 바 있다. 최근 괄목할만한 사실은 교류용 초전도선재개발로 core손실과 전기자손실을 줄일 수 있는 전기를 마련하였다. 그림3은 선진국 초전도발전기 개발 현황을 표시한 것이다.

지금까지 연구결과를 초대로 전력계통에 있어서 과제와 기대효과를 요약하면 표2와 같다.

그림4는 1120MVA 초전도교류발전기와 재래식 발전기의 손실과 효율을 비교한 것으로 손실은 41%로 감소하고 효율은 0.5%증가됨을 알 수 있다. 그림5에서는 용량 증가에 따른 재래식 발전기와와의 상대적 발전기 가격을 나타낸 것으로 고압초전도 발전기는 1200MVA급에서 현재 발전기보다 저렴하게 됨을 알 수 있다. 길이 증량에 있어서도 기존기보다 약 1/3로 감소 수송비 및 건물공사비절감 등을 기대할 수 있으며 전기자권선은 slotless로 되어 전기적 절연이 용이하여 종래기에 비하여 높은 단자전압을 얻을 수 있다. 앞에서 기술한 바와 같이 초전도발전기는 성능 및 경제성이 현재의 발전기보다 우수하여 2000년대에는 전력시스템적용이 확실시되며 현재 소련에서는 2만kw급 계자권선 초전도교류발전

표 2. 전력계통에 있어서의 과제와 초전도 발전기의 기대 효과

과 제	초전도 발전기 기대	기타기술
설비의 대용량화	○ 전기장하, 자기장하 증대로 인한 소형화 ○ 중량 증대화	
에너지 절약	○ 자기회로 저항손 감소 ○ 고신뢰도화 기술의 채용 ○ 자기장하 증대로 소형화·경량화 저가격화	고온가스터빈 연료전지
계통안정도	○ 동기리액턴스 감소에 의한 한계송전 전력 증대 ○ 초속응여자방식 채용에 의한 과도안정도 향상	직렬콘덴서 계동저항 초속응여자방식 증간조상기
계통전압의 안정화	○ 진상용량증대에 의한 분로리액터 절감	정지형 무효전력 보상장치
기 타	○ 전기자 전압 고압화로 인한 변압기 생략	

開發狀況

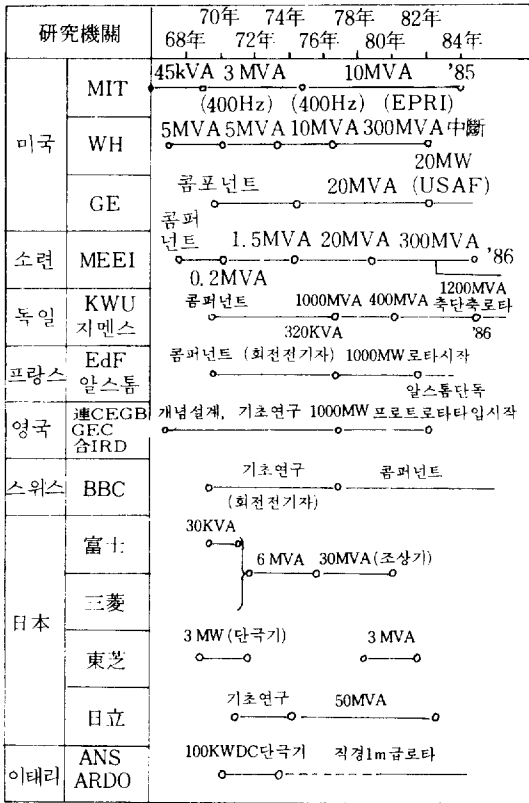


그림 3. 各國의 開發狀況

기를 계통에 병입 실용 운전하고 있다. 작년 산화물 고온초전도체 발전으로 초전도의 전력계통응용면에서 새로운 기대를 가지게 하였고 선재가공기술 확립으로 저

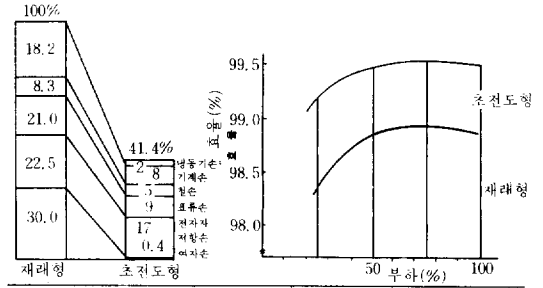


그림 4. 2극 1120MVA용량 발전기의 손실과 효율 비교

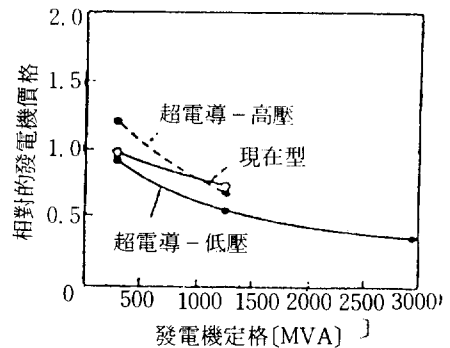


그림 5. 각종 발전기의 제조가격 비교

온 초전도체와 동등한 성능을 가진 고온 초전도체가 개발된다면 저온초전도체를 이용한 발전기에 비하여 다음과 같은 적용효과가 있을 것으로 기대된다. ① 다중원통형 회전자 구조의 단순화(단열구조단순) ② 냉동기의 단

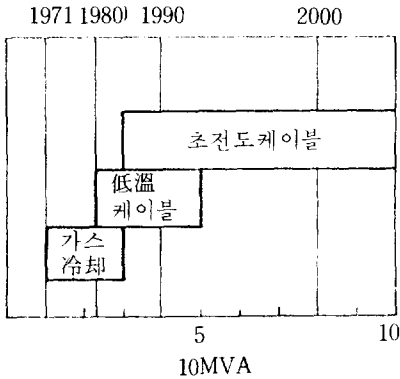


그림 6. 지하케이블 송전방식의 추이에상

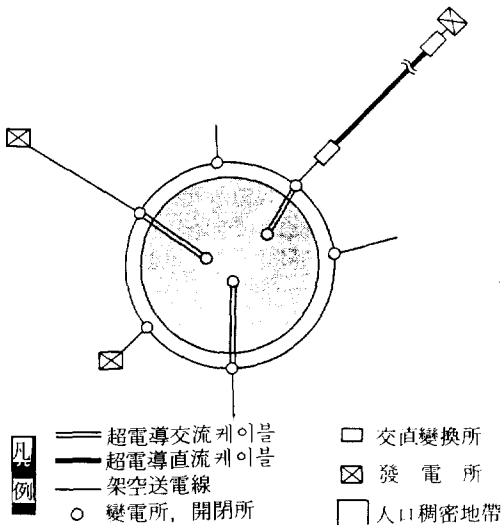


그림 7. 초전도 케이블 적용감소

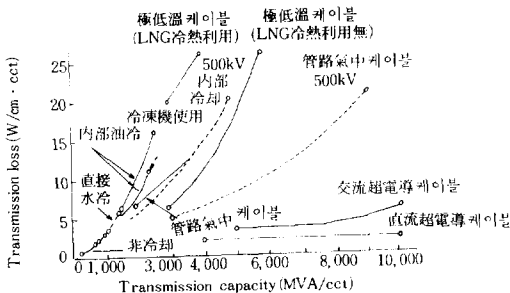


그림 8. 각종 Cable의 송전손실

순화, 효율화(발전기 효율 향상 0.03~0.05%) ③제조비의 저감(2~4% 냉동기제작비) ④운전보수 특성개선 등의 적용효과 등을 기대할 수 있으며 또한 동작온도 범위를 확대시켜 응용기기 각각에 있어서 최적의 온도를 선택하여 이용할 수 있는 장점이 있다. 그러나 초전도 발전기를 실제통에 도입하기 위해서는 극히 높은 신뢰도가 요구되기 때문에 초전도선재, 냉각시스템, 여자장치 전기진권선 지지법등 요소기술 확립을 거쳐 성능평가 및 전력시스템 연계운전 신뢰성 확보가 이루어져야 할 것이다.

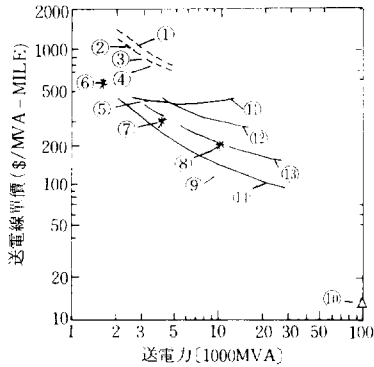
3. 超電算 送電

매년 증대되는 전력수요로 인하여 대용량 전력 수송 방식으로 교류가공송전선은 경제성이 우수하여 광범위하게 사용되고 있지만 넓은 토지를 확보해야 하고 유도장해 電波障害 및 미관 등에서 문제점을 내포하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 신송전 방식이 요구되는데 현재 초전도 기술발달로 초전도 송전 방식이 제안되고 있다. 이 방식은 대용량 직류송전 방식에서 전력손실이 거의 없고 냉동시스템을 포함하여 기존 방식보다 경제성이 있다. 장래 지하케이블송전의 발전추이는 그림6에서 보는 바와 같이 대규모적용이 1990년 중반에 실현될 것으로 보인다.

현재 송전루트 결정 어려움과 전력수요가 집중되고 안정성과 미관성이 요구되는 대도시 인입선 송전에 저온 초전도체 극세다심화기술 향상 및 선재등의 가격하락에 힘입어 그림7에서와 같이 초전도 교류송전이 적용될 것으로 보인다.

외국의 개발현황을 살펴보면 주로 일본 미국과 소련 등에서 연구가 진행되고 있으며 일본의 전자기술연구소에서는 대도시 인입선으로 교류케이블을 상정하여 길이 20~30km 용량 2~3GW급 초전도케이블 개발연구를 진행하고 있다. 한편 미국에서도 역시 길이 100m 138kV급 4KA IGW의 교류초전도케이블을 제작 수년간 통전 시험을 하고 있다.

특히 그림8은 초전도 케이블 송전은 송전용량이 크고 장거리화 할수록 손실면에서도 잇점이 큼을 보여준다. 또한 그림 9는 초전도 케이블 송전방식의 경제성을 타 송전 방식과 비교하여 나타난 것으로 초전도 송전은 교류·직류 공히 송전용량이 증가할수록 경제성이 있음



- ①③ : 500kV AC 液體空素低溫送電
- ②④ : 500kV AC 液體水素低溫送電
- 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 液體水素低溫送電
- 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 9. 각종 송전방식 비교

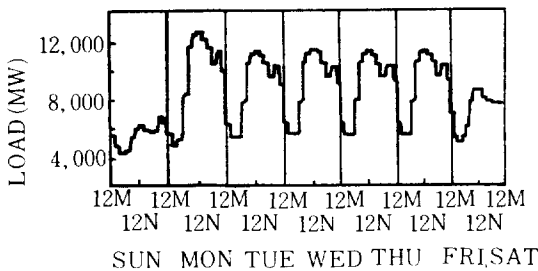


그림 10. 일간 및 주간의 전력수요 변동

을 알 수 있다.

EPRi연구자료에 따르면 3GW에서 기존송전방식에 가격경쟁이 가능하다고 평가했다. 그러나 최근 고온초전도체의 발견으로 안정성·저손실 선재화가 성공하여 초전도 송전이 실현된다면 단일구조의 간단화와 냉각시스템의 고효율화·간략화 등으로 초전도케이블의 적정경제규모의 대폭적인 인하가 예상될 뿐만 아니라 전 세계를 공통적인 전력폴로 이어줄 수 있는 획기적인 전력시스템 구성도 가능하다. 즉 지구상의 모든 곳에서 거대한 전력수요의 피크때에 대응하는 규모의 발전시스템이 필요없게 된다는 것을 뜻한다. 지구규모로 보면 생산 활동이 가장 활발한 낮이 항상 밤보다도 큰 전력을 필

요로 한다. 이제까지는 각기 고립된 에너지 공급영역속에서는 그 수요를 충족시키지 않으면 안 되었다. 만일 지구전체 초전도 송전시스템이 이루어지면 지역적 계절적 일간, 주간 등의 부하에 대한 전력수급을 발전설비 증가없이 가장 경제적으로 계획 운용할 수 있을 것이다. 그러나 초전도케이블의 당면기술적인 과제인 低損失의 交流用線材의 開發, 안정성있는 線材製造, 시공이 용이한 케이블구조의 검토와 경제성 향상을 위하여 냉각시스템의 고효율화가 시급히 이루어져야할 것이다.

4. 超電算에너지 貯藏裝置

산업과 文化수준이 발달할수록 전력수요의 일간 週間 및 年間 피크와 오프피크의 차이가 크고 하루중에는 낮과 밤에 따라 주간에는 평일과 주말에 따라 그리고 연간에는 계절에 따라 변동이 심하게 나타난다. 그림10은 최근 전형적인 일간 및 주간의 전력수요를 나타낸 것으로 심야와 주말에 잉여電力이 發生되고 있으며 앞으로 더 심화되리라 예상되고 있다.

따라서 電力의 合理的이고 경제적인 使用을 위하여 전력저장시스템이 절대필요하며 현재 大容量 전력저장 방법은 양수발전이 담당하고 있지만 이 방식은 부지선정의 어려움과 효율(60~70%)이 낮은 단점이 있다. 그러므로 고효율과 고속응성을 가진 에너지貯藏裝置가 필요한데 최근 초전도 기술진보로 초전도코일에 자기에너지를 직접 저장하는 超電導에너지 貯藏裝置(SMES : Superconducting Magnetic Energy Storage) 유력한 방법으로 부각되어 각국에서 활발한 연구가 진행되고 있다. 이 장치의 특징은 전력에너지를 전력변환기를 거쳐 직류로 무저항 초전도 코일에 직접저장하기 때문에 효율이 높고(90%이상) 속응성이 우수한 점이라 하겠다. 그림11의 구성도를 보면 전력시스템과 연계시켜주는 전력변환기, 에너지를 저장하는 초전도코일, 극저온 상태를 유지시켜주기위한 냉각시스템과 제어보호 장치로 구성돼 있다.

특히 전력변환기로 제어하기 때문에 속응성 뿐만 아니라 변환기의 소호각을 변화시켜 유효·무효전력을 독립적인 조정이 가능함으로 전력저장(유효·전력) 및 광범위한 계통안정화용으로 검토되고 있다.

초전도 저장裝置의 장래 전력系統應用的 평상시와 사고發生時 전력계통에 요구하는 유효(P) 무효전력(Q)는

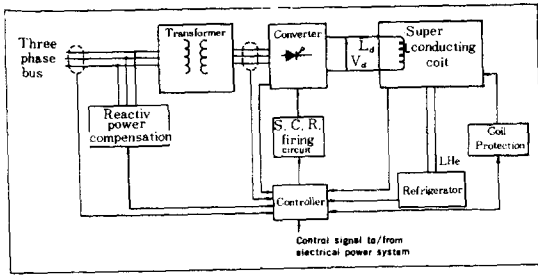


그림11. 초전도 전력 저장장치의 내부계통도

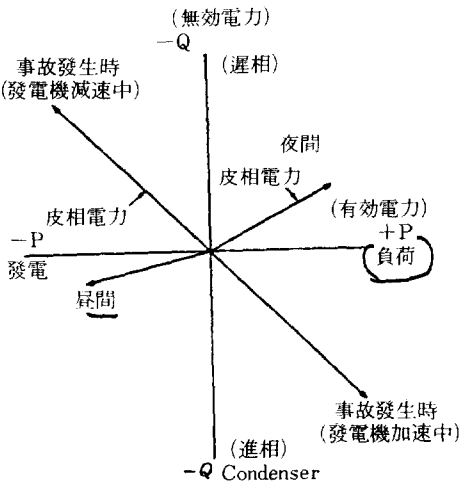


그림12. 電力系統이 要하는 有効, 無効電力

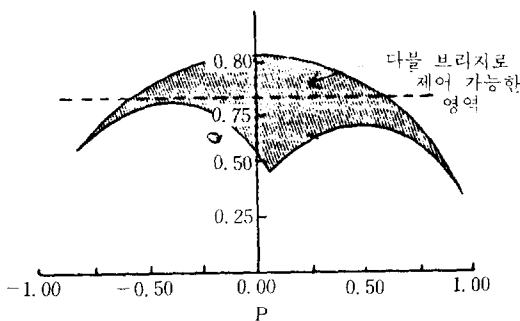


그림13. 有効無効電力特性

그림12와 같이 표시된다. 건전하게 運用되고 있는 電力系統에서 사고가 발생하면 전력계통에 발생하는 피상전력은 제1상한 혹은 3상한에서 제2상한 또는 4상항까지 이동한다. 이의 과정에 있어서 주간 평상시 전원과 부하의 탈락사고가 발생하는 경우와 야간 평상시 발생하는

경우가 있기 때문에 4가지를 고려할 수 있다. 일례로 야간 전원의 탈락사고가 발생하면 부하를 감소시키기 위하여 진상무효전력(+Q), 전력을 공급시키기 위해서는 발전(-P)이 필요하기 때문에 1상한에서 2상한으로 이동하게 된다. SMES제어영역은 교직변환기에 사이리스타 더블브리지를 사용하면 제어영역은 그림13에 표시된 형으로 된다. 이것은 그림12에 표시된 전력계통 요구조건을 충분히 만족시킬수 없기 때문에 GTO소자를 사용하여 제어영역을 원점을 중심으로한 원형으로 3상한과 4상한까지 확대시켜 정격범위내에 있으면 유효·무효전력을 자유로이 제어할 수 있게 된다. 한편 전원탈락시와 부하탈락시에는 전력계통에서 요구되는 유효전력은 역으로 되지만 SMES장치를 이용하여 대응할 수 있다.

大容量에너지 貯藏用 :

대용량에너지 저장용 SMES장치를 주요한 부하가이 초고압변전소에 설치하여 모선 2차측에 접속 야간의 경부하시 수송설비 여유가 있을때 에너지를 저장하고 주간 중부하시에 방출하면 기존 수송설비 이용율을 향상시킬 수 있다.

그러므로 수요의 증가에 따른 송전설비건설을 지연시킬수 있고 변압기 용량증가도 억제시킬수 있다. 최근의 화력 발전소는 종래 발전기에 비하여 상당히 제어성능이 향상되어 전력계통 부하변동에 따른 주파수제어(LFC : Load Frequency Control)를 행하고 있다. 그러나 신에 발전소에 있어서도 증기제와 자동제어의 지연으로 충분히 추종하지 못하는 경우가 있다. 이를 위하여 SMES 장치로 일간부하조정용으로 에너지의 저장·방출을 행할 수 있기 때문에 LFC제어를 시킬 수 있고 주휴 전후의 부하변동에서도 응용할 수 있어 주파수가 안정한 양질의 전력공급에 기여할 수 있다.

電力系統 安定化 :

電力系統에서는 상시 변동하는 부하에 대응하기 위하여 전력을 발생시켜야만 기존 주파수를 유지할 수 있다. 전력계통에서 특히 기간 송전선의 2회선-동시事故등 중대사고가 발생하면 전원과 부하의 상태에 따라 계통내에 존재하는 다수의 발전기간의 동기운전이 보장될수 없는 경우가 있다. 이와같은 불안정현상을 방지하기 위하여 주요한 변전소에 SMES를 분산배치하여 動搖억제를 고려하고 있다. 발전기 가속시 제어저항 삽입방식 또는 병렬콘덴서 투입방식에 비하여 SMES는 발전기의 감속·가속시에도 P,Q동시제어를 할 수 있기 때문에 보

표 3. 초전도에너지 저장장치 장래적용예

이용목적		機能	크기	비고
에너지저장용(전기질의 향상)	양수발전대체 P제어 부하주파수제어 P제어	전원의 유효이용 수송장치의 유효이용 주기 10초-3분 정도의 변동부하 맥동부하제어	5GWh 1-10GWh	특히 주휴 전후 야간 주파수 안정화용
	전력계통 안정화	PQ동시제어가 효과적	Kw 대전력 Kwh 중용량 Kw 대전력 Kwh 중용량 Kwa 대전력 Kwh 중용량	분산배치필요 초고압변전소 2차측 설치
전력계통 안정화	정태안정화용 P제어	저주파지속진동 억제	50MJ 10~30KWh	직렬콘덴서 삽입계통적용
	운전예비력 P제어	운전예비력삭감	1GWh 40만KW	전원탈락시 부하탈락시이용 모선전압상승방지
부하 변동 억제용	밀부하 P제어 전기로 부하 Q제어	SVC와 동등기능	4GJ 0.4 MJ	변동원 가까이 설치 변동원가까이 설치
	조상용 Q제어	Shunt reactor대용 Static condenser 대용		SVC 대용

다 우수한 효과를 기대할 수 있다. 또한 직렬콘덴서를 삽입하는 장거리 송전계통에서는 저주파전력동요가 지속적으로 발생할 수 있다. 이를 위하여 SMES장치를 사용 전력의 흡수·발생을 행하면 동요가 억제되어 계통 안정화를 기할 수 있다. 실제 미국 BPA 타코마 변전소에 30MJ 안정화용 SMES를 전력계통에 접속하여 각종 실험을 행한바 있다. 또한 전력수요는 예측하기 어렵게 급격히 증가하고 발전기 정지에 대비하여 상시 예비력을 가져야 한다. SMES장치는 고속도로 발전할 수 있기 때문에 전원탈락시 흡수하여 수급 불균형을 급속히 취할 수 있고 예비력 삭감에 기여할 수 있다.

負荷變動抑制用 :

제철소의 밀모타는 빈번히 기동·정지하기 때문에 이 모타에 소비되는 전력을 직접 전력계통에서 수전하면 계통에 주파수와 전압이 변동한다. 이와같은 부하에 전압안정화 및 평활화를 위한 SMES장치적용이 검토되고 있다. 또한 대형 전기로 및 용접기의 후리카 현상을 방지하고 노내아아크 단락시 무효전력 변화가 크기 때문에 무효전력을 공급전압변동 억제용으로 사용 가능하다.

調相用 :

전력계통에 있어서 변전소의 전압 및 무효전력을 조정하기 위해서 자동전압 조정장치(AVR), 변압기부하시 TAP절환장치, 분로리액터 및 전력용콘덴서 등의 조상설비가 사용된다. 실제 운전상 조상설비의 경제적 운용을 위하여 야간은 분로리액터, 주간은 전력용콘덴서를 병입하여 日周期로 변동하는 무효전력 요구에 대처하고 있다. 한편 SMES제어방법에 따라 종래의 분로리액터와 전력용콘덴서의 기능을 겸비할 수 있어 속도가 빨리 변하는 단주기의 무효전력을 연속적으로 조정하는 기능을 가질 수 있다. 표3은 위에서 설명한 SMES 장래 적용예와 그 용량을 나타낸 것이다.

연구現況 :

이 연구는 주로 미국과 일본에서 1970년대초부터 시작하여 많은 성과를 거두었다. 특히 위스콘신대학에서 이 장치의 연구개발에 착수한 이래 양수규모 대용량 저장장치(5500MWh)에 대한 개념설계를 완료하여 경제적이면서 기술적으로 가능한 모델인 LAR-Magnet(low aspect ratio)를 전자력을 효과적으로 지지가 가능한 압

표 4. 超電導電力貯藏 裝置의 제원 比較

항 목		미 국			일 본
		전력중앙연구소	위스콘신대학	벨 텔	기술진흥협회
저 장 용 량	MWH	5500	5500	5250	5000
출 력	MW	1000	1000	1000	1000
aspect 비		0.01	0.02	0.02	0.1
코 일 반 지 림	m	784	472	500	188 / 200 / 188
코 일 높 이	m	16	18.9	19	10.8 / 18 / 10.8
코 일 전 류	KA	765	229	200	707
코 일 감 은 수		112	508	556	330
코 일 층 수		1	2	4	1
코일 ripple		있음	있음	없음	있음
코 일 재 료		Nb-Ti / Al	Nb-Ti / Al	Nb-Ti / Al	Nb ₃ Sn / Al
코 일 무 게	t	2040		990	1990
평 균 자 력	MPa	0.4	0.9	0.9	5.3
최 대 자 장	T	4.1	4.0	3.9	4.9
안 정 화 재 무 게	t	11500	13000	4700	20600
구 조 재 무 게	t	47000	69000	44000	25000
열 흡 수 재 무 게	t	-	-	59900	-
암 반 구 조		개방굴삭	개방굴삭	개방굴삭	3터널
평 균 심 도	m	15	16	14	150
변 환 기 효 율	%	0.94	0.94	0.94	0.95
냉 동 기 손 실	MW	5.3	5.4	4.1	6.0
총 효 율	%	0.91	0.91	0.92	0.91

반에 설치를 제안하였고 이 연구의 효시가 되었다.

또한 로스알라모스연구소에서 30MJ안정화용 SMES 제작하여 BPA타고마 변전소의 실제동에 적용 장거리 송전선 저주파 지속진동 억제용으로 실증실험을 완료하였다. EPRI에서도 연구결과를 토대로 향후 발전추이에 따른 경제성 평가를 시도하였고 이 장치의 경제 분기점 투자비(Break Even Capital Cost)를 최대 1570\$/kw, 평균900\$/kw 평가하였다. 지금까지 연구를 토대로 위스콘신대학그룹과 벡텔사에서 20MWh시험프랜트 건설을 진행중에 있다. 일본에서도 1969년 구주대학에서 연구를 시작한 이래 광범위한 연구를 추진하고 있다.

특히 1982년 신에너지총합개발기구(NEDO)를 중심으로 총합연구 시스템을 구성하여 양수규모의 저장장치 개념설계를 완료하고 초전도 저장장치 연구회 그룹에서 13kwh용량의 시험프랜트를 암반에 설치하는 연구를 진행하고 있다. 표4는 양수규모용 저장장치 사양을 나타내고 있다.

高温超電導體 적용과 과제

산화물 초전도체를 이용한 실용線材가 개발되면 액체 질소온도로 시스템구성이 가능하기 때문에 단열구조의 간략화 및 냉동시스템의 효율향상에 의해 적정경제규모 인하시스템, 신뢰성의 향상이 기대된다. 그러나 앞으로 코일체적설계, quench검출, 보호장치 냉각시스템의 신뢰성확보 및 누설저지에 의한 환경의 영향검토등이 이루어져야할 것이다.

5. 超電導變壓器

초전도케이בל등 초전도전력시스템구성에 있어서 초전도 변압기도입이 요망되고 있다. 이 변압기 연구는 다른분야 연구와 달리 프랑스에서 50/60Hz용 교류저손실 초전도체 개발에 성공함으로써 1983년부터 본격적인 연구가 시작되었다. 초전도 변압기 구조는 제작사마다 조금씩 다르지만 종래의 변압기 구조와 비슷하며 액체

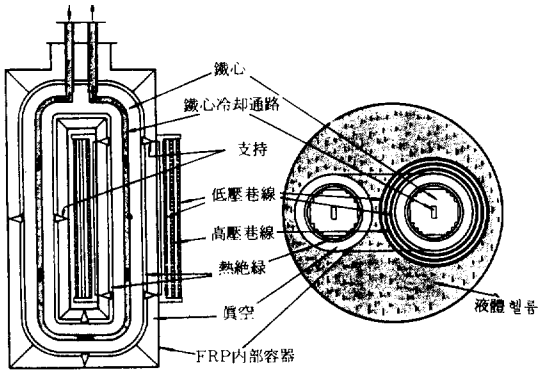


그림 14. 알스톰社試作 220kVA660/4000V 變壓器의 斷面圖

표 5. 알스톰사 제작 220KVA 초전도 변압기의 종래품과의 특성 비교

提 示	超電導器	從來器
磁束密度	1.8T	1.5T
鐵損(常溫空間)	100W	694W
銅 損	4W×500	1,733W
容器도입선 의한 熱侵入損	2W×500	-
全重量	100kg	1,000kg
全損失	1,300W	2,400W
効 率	99.4%	98.9%
短絡電流倍數	1.5	15

에 대하여 70.2로 SCT의 우위를 표시하고 있다. 그러나, 전코스트중 재료비 및 냉동장치의 가격이 20%을 초과하고 있어 코스트의 압박요소가 되는 것으로 나타났다. 역시 WH사에서는 그림15에서 표시한 바와 같이 300MVA 이상에서는 SCT가 유리하고 중량은 상대적 평가치인 0.64로 경감되는 것을 알수 있다. 결론적으로 WH사는 ①현기술로 초전도변압기는 제작가능하고 ②전코스트는 SCT가 유리하며 ③고장시의 전선의 안정성, 고저압 붕괴에 관해서는 급후에 연구가 필요하다고 평가했다.

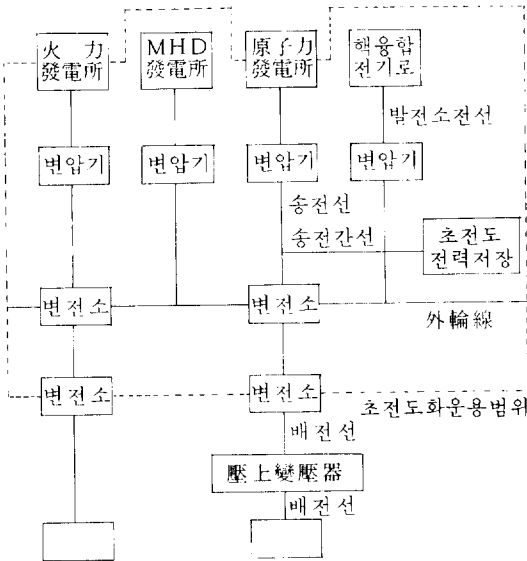


그림 15. 초전도 전력시스템 구성

헬륨이 가득한 저온용기에 코일을 넣는 구조로 되어 있다. 그림14는 알스톰사가 시작한 220KVA660/400V 변압기의 단면도를 표시한 것이다.

이 변압기 개발은 프랑스 알스톰사에서 50Hz, 220KVA 660/4000V의 초전도변압기(SCT)을 제작 시험중에 있고 표5는 종래와 같은 정격의 변압기와의 특성비교이다. 종래의 전손실은 2400W인데 비해 1300W이고 중량은 1,000kg인데 비하여 100kg으로 저감된다. 또한 WH사 발전소용 SCT(3φ, 60Hz, 1000MVA 22/550kV %1Z=12(%))를 제작, 이 변압기에 대한 경제성을 평가한 자료를 보면 전코스트(Total life cycle cost)는 종래기의 100

6. 結 論

지금까지 서술한 超電導電力應用機器 技術開發과 課題를 요약하면 표6과 같다. 변압기케이블 발전기 및 저장장치 등이 초전도화된 전력시스템은 최종적으로 그림 15와 같이 구성될 수 있다. 전력시스템의 초전도화는 비약적으로 시스템의 高効率化, 高密度化를 달성할 수 있기 때문에 고온초전도체실용화 가능성이 확실해지면 전력계통에 조기적용될 것으로 전망된다.

이러한 고온초전도체의 응용은 1948년트랜지스터가 현대 공학기술에 미친것 만큼이나 에너지 분야는 물론이고 전력시스템분야에 많은 영향을 줄것으로 보인다. 이러한 이유로 선진각국에서는 전력계통 조기 실용화를 위해 분야별로 연구협의체를 구성하는 등 연구에 진력하고 있다. 현재 우리나라 연구실정을 살펴보면 한전기술연구원에서 서울대학교의 협조로 소규모(25KJ) 초전도 저장장치에 관한 연구를 진행중이며 한국표준연구소에서는 소규모응용 기초분야 한국과학기술연구원에서

표 6. 초전도전력응용기기 기술개발과 과제

적용기기		초전도화의 장점		과 제	산화물 초전도의 효과
		협의 장점	광의의 장점		
발전기	저속응여자 초속응여자 (계자권선)	○ 효율향상(0.5-1.0%) ○ 소형화(50%) ○ 경량화(50%)	○ 안정도 향상 저속응여자 1.3배 고속응여자 1.7배	○ 회전자구조, 전자 력 ○ 냉각 ○ 계자권선의 기계적 전 기적 안정성	○ 회전자구조 간략화 ○ 구조상문제점 경감 ○ 냉동기의 효율이 50배 이상향상
	완전초전도 계자와 전기자	○ 효율향상(0.8-1.3%) ○ 소형화 ○ 경량화	○ 안정도 향상	○ 고정자권선의 기계적 전기적 안정성	○ 발전기효율 0.03% 향 상
변압기		○ 효율향상(0.1-0.2%) ○ 경량화(60%) ○ 소형화(40%)	○ 초전도계와 상온도 계의 조합 ○ 고장 전류 억제	○ 전자력 ○ 권선 ○ 전선구조 ○ 냉각 ○ 퀘치시 운전방법	○ 기계구조 간략화 ○ 절연용이 ○ 냉각효율향상
교류케이블		○ 효율향상 500Kv 5GVA인 경우 손 실이 OF케이블의 1/10 ○ 소형화 500Kv 5GVA 소요 스페 이스 OF케이블의 1/4 ○ 제조한계 용량증대	○ 허용송전거리 장거 리화 ○ 전력계통의 대전류 화 저전압화(계통저 cost화)	○ 케이블 구조 ○ 전자력 열수력 고장전류	○ 단열구조, 냉각시스템 간략화 ○ 건설비 대폭적인 저감 ○ 경제성 성립범위확대 ○ 냉각효율 향상
전력저장			고효율전력저장 (90% 이상)	○ 전자력(암반지지) ○ 퀘치 대책 ○ 자기 필드	○ 단열구조 간략하 건설 비 절감 ○ 냉각효율 향상 ○ 시용범위 확대

NMR를 이용한 연구 및 대학에서 초전도재료분야 연구 등 아직 초보단계에 있다. 그러나 1987년 2월 고온초전도체 발견을 계기로 이에 대한 관심이 재고되어 활발한 연구가 진행되고 있는바 이를 토대로 기술인력확산 및 효율적인 연구체제확립하여 나가야할 것이다.

특히 초전도 전력계통 응용기술은 전기전자 기계·금속·물리·화학과 극저온기술 등 복합적인 전문지식을 필요로 하고 그 연구개발비가 막대하게 투자됨에 따라 (일례: MHD발전시나리오 15억\$ 소요) 연구소상호간의 기술협력은 물론 국가적으로 초전도 종합기술 확립하기 위한 협의체설립, 연구분야, 투자방법 및 국외연구기관과의 신기술 및 정보교환 협조체제를 구축하여 연구개발에 착수 초전도의 전력계통 조기적용을 위해 노력해야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 1) Y. Tanka, et al., "Effect of Composite Structure on AC loss of Superconductivity", 1986 Applied Super. Conf.
- 2) 特集/超電導技術の最近の進歩, OHM, 1987, No. 3, pp. 25-57
- 3) 相山義道, "メ連における超電導發電機の開發現況", OHM, 1987, No. 10, pp. 84-86
- 4) わが國の超電導産業技術開發イのアプローチ, OHM, 1987, No. 10, pp. 87-93
- 5) R. W. Boom et al., "Wisconsin Superconducting Energy Storage Project, Vol. 1" Univ. of Wisconsin-Madison, July, 1974
- 6) R. I. Schermer, "30MJ Superconducting Magnetic Energy Storage For BPA Transmission Line Stabilizer", IEEE Trans. MAG-17, No. 5, 1981
- 7) "超電導發電關連機器·材料技術のフイージセリテイ調査

研究” Technova Inc., 3月, 1986

8) “電力系統의 安定化 技術” 電氣學會技術報告(Ⅱ部) 第328號

9) M. Yamamoto, et al, “Development of 50Hz Disc-Type Superconductivity Coil, 1986. Applied. Supor. Conf.

10) 홍원표, “초전도의 전력계통응용과 전망” 전력연구 4권3호 1987

11) 特輯 / 超電導體의 應用, KAERI, JOUR-NAL, Vol. 7, No. 2, Dec., 1987

연구회 안내

大韓 電氣學會 計測制御 研究會 및 大韓電子 工學會 制御計測 研究會의 春季學術發表會를 兩 研究會 合同으로 開催하고자 합니다. 會員 여러분의 많은 參與바라오며, 論文發表를 願하시는 會員께서는 아래의 要領과 같이 論文要約書를 提出하여 주시기 바랍니다.

— 아 래 —

1. 日 時 : 1988年 5月 28日(土) 13:00~18:00
2. 場 所 : 京畿道 安養市 虎溪洞 럭키금성 第1 研究團地
3. 參加要領 : 1) 論文 要約 書式 : 電氣, 電子 學會에서 印刷한 所定の 學術發表原稿紙 3 枚以內 (必要時 學會事務局로 連絡)
- 2) 論文 要約 提出處 : ()는 問議 電話
 - 우) 430-080 京畿道 安養市 虎溪洞 533 럭키금성 第1 研究團地 金星産電 (株) 研究所 崔 浩顯 所長(0343)53-5551
 - 우) 139-050 서울 도봉구 월계동 447-1
光云大學校 電子工學科 李 相孝 教授(918-1021 교환 316)
 - 우) 135-080 서울 강남구 역삼동 635-4
大韓電氣學會 事務局(553-0151), 大韓電子工學會 事務局(568-7800)
- 3) 論文 題目 通報마감 : 1988年 4月 30日(電話 또는 書面)
- 4) 論文 要約書 原稿 提出 마감 : 1988年 5月 14日

大韓電氣學會 制御計測 研究會
幹 事 長 李 相 孝

大韓電子工學會 制御計測 研究會
專 門 委 員 長 崔 浩 顯