

## 전력계통 관점에서의 초전도 전력기기 적용효과와 기술상의 과제

홍 원 표                      서 정 윤                      박 중 신

(한국전력 기술연구원 계통연구실)

### The Technology Impact & Problems of Superconductivity Applied Components on Future Power System in Korea

W. P. HONG                      J. Y. SEA                      J. S. PARK

{ Power System Department  
Korea Electric Power Corporation Research Center }

**Abstracts**

If we rely only on the conventional technology, It may be difficult to meet the recent requirements to electric power system such as further improvement of the quality of electric power supply, technology problems environmental compatibility and so on. Nowadays, power engineers much interest in applying new technology to power system industry. It is confirmed the technology of superconductivity applied components plays an important role in solving the problems of power system, because superconductors, used in suitable applications, can make electric power equipment smaller, lighter, more efficient and perhaps with better dynamic response. Two specific applications are considered here : electric machinery (Generators, Superconducting Magnetic Energy Storage, Transformer, Current limiter) and transmission line. The paper addresses the limitation of conventional technology, the technology impact & problems of superconductivity applied components to future power system from qualitative and some quantitative viewpoints. The paper close with questions posed to simulate thinking on how superconductivity might be applied to power systems on a holistic basis.

**1. 서 론**

새로운 세기에 상정한 기술 동향의 특징은 20세기의 기계시스템 (Hardware 지향, 단일기능 및 분산적)에서 프로세스 · 시스템과 다원적이고 총합적 기능들의 특징을 갖는 전기시스템이 한층 주체적인 역할을 담당하는 전기의 세기가 예상된다. 또한 에너지 사용 측면에서 총 에너지중 전기에너지의 사용 점유율이 선진국에서는 현재 40%을 초과하고 있고 우리 나라에서는 곧 선진국과 비슷한 비율이 될 것으로 생각된다. 따라서 전력의 생산 수송 분배시스템은 미래 사회의 동맥으로서 그 역할은 한층 증대될 것이다<sup>1)</sup>. 최근의 고도정보화, 생활가치관의 다양화 등으로 인한 전력의 제어성, 안정성과 안전성등의 향상요구, 기술적 및 환경적 문제점의 해결을 위하여 종래의 기술에만 의존한다면 효과적으로 대응하기는 어려울 것으로 전망된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 전력계통에서 다양한 분야의 신기술 적용은 현재 중요한 관심사로 부각되고 있으며 특히 이중에서도 초전도 전력기기의 전력계통 적용 기술은 미래의 전력계통에 있어서 대단히 중요한 요소로 등장 할 것이다. 초전도의 대전류 (大電流)와 고자계 밀도 (高磁界密度)의 특성을 이용하는 미래 전력계통의 초전도화의 의의는 低損失, 고밀도화 (Compactness), 고성능 및 경제성 제고로 요약할 수 있다. 여기서 저손실은 초전도 선재의 무저항성을 이용하여 각 기기마다

차이는 있지만 종래 기기보다 손실을 대폭 줄일 수 있으며 고밀도화는 전력기기의 소형화, 경량화로 발전소와 변전소의 콤팩트화를 기할 수 있다. 셋째로 高性能 요소는 특히 전력시스템 이용시 나타나는 특성으로 전력시스템의 안정도 향상, 대용량화의 용이성 및 기존기술의 한계상 극복으로 인하여 대도시 전력공급 난제를 용이하게 해결할 것으로 예상하며 마지막으로 기기와 전력시스템의 효율상승, 고성능화 및 고밀도화로 대용량화 할수록 Scale merit도 인하여 경제성 제고에도 기여할 것으로 분석되고 있다. 장래 전력시스템에서는 초전도 에너지 적용이 예상되는 초전도 전력기기 (Superconductivity applied Components)는 초전도 발전기, 저장장치, 변압기, 케이블과 한류기등이 있으며 이와 같은 기기와 그 영향을 고려해 볼 때 초전도가 전력망 구성에 어떻게 변혁시킬 수 있을지 간단히 답하기는 어렵지만 위에서 언급된 4가지 특성을 효과적으로 이용할때, 전력 유통시스템은 질적, 양적 변화가 초리될 것이 분명하다<sup>2), 3)</sup>. 밑에 고온 초전도체의 초전도 케이블 송전은 상대적 저전압 (66 kV)으로 대도시 가까운 발전소로 부터 직접 대도시에 지중송전으로의 전력 공급도 고려할 수 있다. 따라서 본 논문은 종래 기술의 한계성, 초전도 전력기기의 전력계통 적용에 있어서 기술적인 효과와 문제점등을 전체적 (holistic) 관점에서 분석하였으며 아울러 우리나라의 적용전망을 고온 초전도체의 실용화와 관련하여 간략하게 기술하였다. 여기서 서술된 기술적 경제적 평가들은 정확히 증명되지 않은 정성적인 가정들이 많이 포함되어 있으며 앞으로 계속적으로 포괄적이고 요소적인 평가가 진전되어야 할 것이다. 표 1은 초전도 계통적용 추정결과를 요약한 것이다<sup>3)</sup>.

표 1. 초전도 전력계통 적용 가능성  
Table 1. Feasibility of applying superconductivity to power system.

구성 요소	효과	LHe 냉각	LN <sub>2</sub> 냉각
발전기	효율 및 안정성 향상	A	A
변압기	손실 감소와 경량화	C	B
송전선	손실 감소	D	D
	지 중 대용량 저손실 송전	C	B
에너지 저장 (SMES)	대용량 (대수규모)	C	C
	소, 중용량 (~ 5Mwh)	· 안정도 향상 · 부하변동 보상	B
한류기	단락 전류 억제	C	A

- (註) A : 광범위한 적용가능, B : 적용가능  
 C : 적용가능하나 문제점 많음  
 D : 적용불가능

2. 전력시스템의 문제점과 종래기술의 한계<sup>4)</sup>

2-1. 전력시스템의 문제점

그림 1에서와 같이 전력계통의 최근 경향은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 계통 단락 전류증대 (시스템의 증대)
- 계통 안정도 감소 (원거리 전원의 증가)
- 전압안정도 감소 (전력계통 용량증가 및 무효전력 공급 및 방출 부하의 증가)
- 높은질의 전력용 요구하는 부하증대(컴퓨터전원등)
- 환경 및 기술적인 관점에서 대도시의 전원공급 문제 대두 (번전소부지, 송전선로 루트 선정 및 지중선 요구 증대)
- 코스트다운 요구 (다른 에너지원과의 경제성 문제 대두)

위의 분석으로 비추어 볼때 전력시스템은 안정성 향상, 고품질 전력공급, 환경문제 해결, 단락전류의 감소 및 저렴한 전력공급의 요구를 충족해야할 시점 에 와 있다.

우리나라의 최대전력은 1990 (17,252 MW)년 기준으로 할때 2010년경 약 3.3배 이상 늘어날 것으로 추정하고 있으며, 특히 부하의 대도시로의 집중화가 가속되어 왔다. 한편 이에 대응하는 전력공급은 발전소의 대규모화와 원격화가 추진되고, 대도시 주변에서 공급시스템의 고밀도화가 매우 심화되어지고 있다. 현재 기술의 지속적인 개발이 이루어진다면 해도 향후 급증하는 전력수요와 도심지역에서 전력수요의 과밀도 현상 및 지역간 전력불균형 향상등과 같은 문제점을 고려할때 새로운 기술 개발 적용이 매우 시급 할 것으로 전망된다.

이러한 전력시스템의 문제점을 해결하기 위하여 종래의 기술개선 등으로 통하여 추진하고 있다. 일례로 발전기 측면에서는 원격지 발전소에 대응할 수 있는 고 속여지기 개발로 해결 노력을 기울이고 있으나 이는 동기터오프스 증가문제, 여자기의 절연, 증방등에서 기술의 한계를 보여주고 있다. 2 구역서 단위기 용량은 한계는 약 1.5 GW 정도인 실정이다.

부하의 도시 집중화는 고밀도 대전력 수송이 요구 되고 있으며, 또한 환경문제의 첨예한 대두로 대도시 전력 공급은 지중화로 진전되어 갈 것이다. 특히 경인 (서울)의 대도시는 2006년경 15 GW 이상 증가 되어 이 지역의 전력공급은 첨예한 관심사로 대두되고 있다. 종래 케이블(OF)에서 지속적으로 기술개발이 이루어 진다해도 송전용량은 2500 - 3000 MVA / oct 정도로 되고 송전거리가 짧기 때문에 기존기술의 한계가 곧 도래할 것으로 예상된다.

부하특성의 경직성, 전원의 장거리, 고밀도 수송, 및 제어기통의 부조합등 전력시스템 측면에서 문제점 증가 뿐만아니라, 수송가에서 고품질 전력 공급 요구가 점점 더 가속될 것인바, 현재 사용중인 번전소의 조정기능으로는 계통안정도와 전압안정도에서 많은 문제점을 제기하고 있으며 대규모 사고 파급사태가 나타나고 있다. 또한 대규모 발전소 증가로 인하여 순동예비력 확보등은 전력회사의 중요한 요소로 등장 되고 있는 실정이다. 현재 이 문제의 해결을 위하여 무효전력 보상장치 개발과 같은 발전, 번전, 부하동 각 방면에서 다각적으로 연구되고 있지만 적절한 해결책을 제시하지 못하고 있다.

그림 4는 이러한 전력 계통의 문제점을 해결하기 위한 현재기술의 한계성을 개괄적으로 나타낸 것으로 앞으로 전력계통의 여러가지 관점에서 판단해볼 새로운 기술 동향이 불가피 할 것으로 보인다.

2.2 현재 기술상의 한계<sup>5),6)</sup>

그림 2는 열적제한 측면에서 우리나라의 송전용량 성장 추세를 나타낸 것이다. 전력수요의 증가에 따라 가공, 지중 송전은 UHV화 되어 있고 현재 고밀도 도심 지역 공급에는 전력루트 절점의 어려움, 전자장 장애에 대한 관심 고조 (E/MF : Electric Magnetic field) 및 도시미관상 때문에 지중화 추세가 있다.

표 2. 전압별 OF 케이블 송전용량 한계 비교  
 Table 2. The limitation of transmission Capacity of OF cable.

송전전압 (kV)	송전용량 (MVA)	송전거리 (KM)
154	300 - 400	20
345	800 - 900	20
500	1500-2500	20

그림 2에서 보는 바와같이 케이블송전은 계통상의 송전한계 보다 매우 작아 그 기술개발을 통하여 송전 용량 증대를 시킬수 있는 여분은 있지만 현재 OF 케이블에서는 표 2와 같은 용량한계를 지니게 된다.

그림 3은 우리나라에서의 단위 터어빈 발전기 성장 추세를 나타낸 것으로 대개 500 MW 이하급 발전기 용량은 순동예비력에 의하여 주어지는 계통 허용공급 범위에서 결정되지만 계통 전력공급력이 커진 현재는 그 용량은 제작의 기술적 한계에 의하여 결정되어 진다. 기존 발전기의 용량한계는 동기터오프스 줄이는 관점에서 공기(air gap)를 늘릴 수 있는 있지만 발전기 효율에 의하여 제한을 받게되고 또한 발전기 용량은 [KVA]은 일반적으로 다음과 같은 관계식을 갖게된다.

$$[KVA] = KD^2L \cdot [rpm]$$

여기서 K는 출력계수, D는 고정자내경, L의 철심의 길이이다.

위의 식에서 보는 바와같이 용량증가를 위하여 고정자내경과 철심의 길이 증가시킴으로서 가능하지만 회전자의 진동, 설치 운반상의 문제점 때문에 1000 MVA급에도 그 한계가 나타나기 시작한다.

현재, 회전자 냉각기술 및 제질 향상등으로 기술진 보가 이루어 진다해도 그 한계는 2000 MVA로 제한 된다. 번압기는 효율 및 이의 특성이 매우 좋기 때문에 다른 기기에 비하여 기전의 여지가 적지만 그 용량은 운송능력 (1.5 - 2 MVA / ton)에 의하여 결정되며 현재 그 한계용량은 1000 MVA - 1500 MVA로 제한되고 있다.기존의 기기와 대응시킴이 없는 새로운 기기로서의 초전도 에너지 저장장치 (SMES)는 부하평준화의 요구, 급변하는 부하의 증가, 계통 안정도 향상요구, 전압 안정성확보 요구 등에 효과적으로 대처할 수 있는 기기로 평가되고 있다.

그림 4에서는 현재기술의 한계를 기계적(hardware)인 측면과 전력계통운용 측면에서 기술하고 이를 효과적으로 대처하기 위하여 초전도 전력기기를 대응시켜 보았다.

3. 초전도 기술의 개요<sup>6),7)</sup>

3. 1 초전도의 특징

전력기술에 초전도 응용은 무저항(대전류), 고자계 밀도특성을 이용하는 것으로 초전도 현상은 3가지 조건 즉 일정한 온도, 자계, 전류에서 일어나기 때문에 가장 큰 어려움을 현재 실용화 되고 있는 Nb-Ti 와 Nb<sub>3</sub>Sn 초전도 선재는 극저온(-269° C, LHe냉각)으로 내려야 하는 점이다. 여기서 Nb-Ti는 그 구조상 기계적으로 좋은 특성을 요구하는 초전도 발전기와 비교적 적은 자속 밀도에서 사용이 가능한 기기에 이용되고 있다.

이 저온 초전도체의 계통적용 기기에 있어 중요한 파라메타는 교류에서 저온실 고안정 선재를 개발하는 것이다. 이는 대부분 초전도 전력기기는 발전기 회전자 및 초전도 에너지 저장 장치를 제외하고는 대부분 교류이며 그 적용의 범위를 넓히는 중요한 역할을 할 것이기 때문이다.

초전도 전력계통 적용이 있어서 또한나의 중요한 사항은 1986년 고온초전도체 (77° K 이상)의 발견이다. 이는 금속성 초전도체와는 달리 산화물에서 초전도 현상을 발견한 후 현재 그 임계온도가 125° K (T1계)까지 진전되어 있다. 앞으로 아래에 설명될 장애를 극복하고 실용화 가능성이 판명되면 전력기와 케이블 전 영역에서 광범위하게 적용되어 새로운 전력 시스템의 모습을 갖추게 될 것이다.

현재까지 나타난 결과를 분석해 볼 때 이트륨(Yttrium), 비스무스(bismuth), 그리고 탈륨(Thallium)계에서 각각 92° K, 110° K, 125° K에서 안정하게 임계온도를 나타내고 있지만 임계자계와 전류밀도가 낮고 공히 이방성 특성을 가지고 있다. 또한 기계적, 전기적으로 취약하여 실용화에 어려움을 가지고 있다. 앞으로 고온 초전도체를 설명할 수 있는 이론의 정립을 통하여 부단한 노력을 기울인다면 이러한 장이들을 극복할 것으로 전망한다. 실용화하기 위한 선제의 전류밀도는 적어도  $10^8[A/cm^2]$  이상되어야 한다.

3. 2 초전도 전력기기

현재 개발되고 있는 초전도전력 응용기기의 특성과 개념은 아래와 같이 요약할 수 있다.

- 기존기기의 개선

(1) 초전도 발전기

회전자만 초전도선으로 치환되는 형태와 교류초전도 선제의 개발로 회전자와 전기자 모두 초전도선으로 치환되는 형태가 있다. 발전기는 종래기에 비하여 효율향상, 전력계통의 운전비 절감, 안정도의 향상에 크게 기여할 수 있다. 반면에 단락전류가 크게 증가하는 단점이 있다.

(2) 변압기

변압기의 고, 저압전선은 초전도 전선으로 치환되고 철심은 상온에서 기존변압기보다 적게 사용할 수 있다. 중량을 감소할 수 있고 역시 손실을 저감시킬 수 있다. 이 적용에 있어 중요한 문제는 계통고장시 단락전류에 의한 열폭주(quen) 대책이다.

(3) 케이블

전력케이블의 도체를 초전도체를 현재 OF cable 모양과 비슷하다. 대용량과 저손실 송전가능하며 이 중요한 문제점은 장거리 케이블송전을 위한 냉각시스템의 신뢰성 확보에 있다.

- 새로운 기기 (전력시스템의 새로운기능 부여)

(1) 초전도 에너지 저장 장치 (SMES)

초전도코일에 자기적으로 전기에너지를 저장하는 기기이다. 전기를 직접 저장하기 때문에 효율이 높으며, 유효, 무효전력을 고속으로 제어할 수 있다. 중요한 문제점으로는 전자력의 자자, 대용량 초전도선제의 냉각, 누설자장의 지폐 등 대응화 할 수록 심화되는 특성을 가지게 된다.

(2) 초전도 한류기

초전류 한류기는 초전도 상태에서 상전도도 전이(quen) 하는 기본개념을 이용하는 것이다. 전력계통에 초전도 도입시 단락 용량이 증가하기 때문에 차단기 부담을 경감시키기 위하여 사용할 필요가 있다. 이 장치의 에너지 손실은 적지만 고장전류에 의하여 발생하는 열적에너지를 효과적으로 방산시키는 문제점을 가지고 있으며 고온초전도체 이용시 계통에서 중요한 역할을 담당하게 될 것이다.

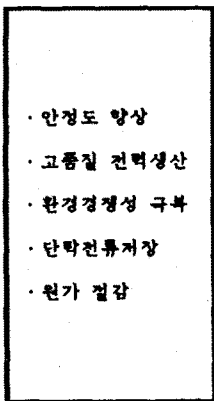
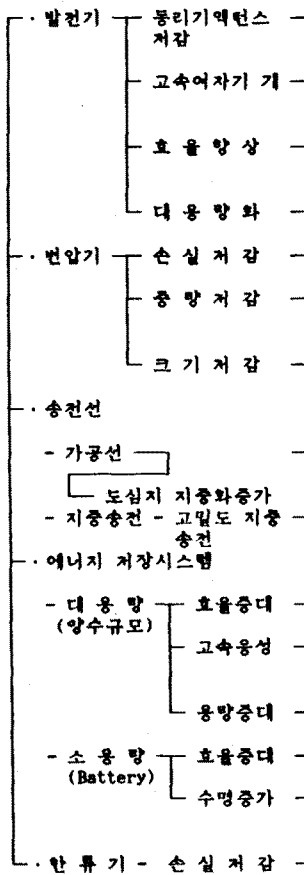


그림 4. 종래기술의 기기별 제한요소  
Fig. 4. Limitations of conventional technology.



현재 기술 제한		한계 값
hardware 제한	계통 제한	
Xd 증가 (용량 증가)		2극: 1.7-1.8 4극: 1.5-1.6
여자기 절연		최고전압 약 1KV
철손, 동손, 기계손		약 99 %
중량, 속길이	· 주파수변동 (순동예비력)	2극: 1.5GW 4극: 2 GW
동손, 철손		약 2 %
전선과 철심 중량		1.5 - 2 [MVA /ton]
권선크기		
열적 제한	· 한선로붕괴 · 괴인한 주파수 변동	계통의 5-6 %
열적 제한 송전 용량	· 케이블사고 · 괴인한 주파수 변동	약 2500 MVA (500 kV, 20-30 km)
양수발전 효율 증대 한계		70 %
양수발전 속용성 한계		1 분
입지 장해		약 10 Gwh
화학 반응이용		75 %
화학 반응 중방전사이클		5-10 년
전력소자 및 직렬 연결소자		2 %

전력계통의 요구조건과 전력기기		현재기기의 한계성 극복		초전도 전력기기
		가능성 여부	설명	
· 발전기	동기리액턴스의 저감	Y	동기리액턴스가 기존 발전기의 1/3 - 1/6로 감소	초전도 발전기
	고속 여자기 필요	N	고속여자기 실현이 어렵다. (교류 초전도 선제사용 가능)	
	효율 증대요구	Y	효율이 0.5 - 1% 상승	
	대용량 요구	Y	GW 단위 이상 용량가능	
· 변압기	손실저감 필요	Y	손실 약 0.1% 감소	초전도 변압기
	중량저감 필요	Y	중량 1/2 - 1/3 감소	
	크기저감 요구	N	냉각과 절연 때문에 가능성이 적음	
· 송전선	송전용량 증대	N	-	초전도 케이블
	지중선 - 고밀도, 대용량 요구	Y	대용량 고밀도 중거리 송전가능	
· 에너지 저장장치 대규모	효율 향상	Y	종합 효율이 90% 이상 (양수: 70%)	대용량 SMES
	고속 제어	Y	ms 단위 (분단위)	
	대용량화	YN	전자력 지지, Engineering 상의 문제점 및 누설자속	
중(소)규모	효율 증대	Y	약 90% 이상	소용량 SMES
	수명 증대	Y	수명 30년 (5 - 10년)	
	안정도향상 요구	Y	유효, 무효전력 동시 고속(ms) 제어	
· 한류기	손실저감	Y	냉각시스템 손실고려	초전도 한류기

(注) Y: 가능성이 매우 크다.  
 YN: 가능성의 가능성이 많다.  
 N: 가능성이 거의 없다.

그림 5. 초전도 기술에 의한 종래기술의 한계 극복 가능성  
 Fig.5. Possibility of breaking through the limitation of conventional technology by superconductivity technology.

4. 초전도 응용기의 적용가능성 검토

4. 1 현재기술 한계성 극복

전력계통의 초전도 전력기기의 적용은 현재 기술 상으로 기기자체 기술과 전력계통에서의 현재 기술의 한계성을 극복하는 측면에 실현 가능성이 농후해진다. 그림 4는 초전도 기술의 적용가능성을 현재 기술의 한계성과 대비시켜 나타냈다. 그 자세한 결과는 그림 5에서 구체적으로 서술 하였다.

4. 2 초전도 기기의 적용검토

초전도 전력기기의 적용 메리트는 아래와 같이 2가지로 분류하여 설명할 수 있다.

- 요스드라운 기대 (설치 및 운전; 현재기술 개선 및 한계극복): 초전도 발전기, 초전도 변압기
- 새로운 전력기기적용 (현재기술도 실현하기 어려운 기능 수행): 대용량 SMES, 소용량 SMES, 초전도 한류기, 고밀도 지하송전 (초전도케이블)

다음은 계통적용이 유희시 되는 초전도 발전기, 소용량 SMES, 초전도케이블, 초전도 변압기 및 한류기에 대하여 기기별로 경제적, 기술적으로 평가하여 기술 하였다.

4. 2. 1 초전도 발전기 (원격지 대용량 발전기)

초전도 발전기의 적용 잇점은 효율향상, 전력계통 안정도 향상 (진상 무효전력 공급확대) 단자전압의 고압화, 소형 경량화 및 제조단가 저하등을 들 수 있다.<sup>10,11)</sup>

계자전선을 초전도 권선을 사용하여 계자전선의 주유효감소, 회전자 길이 축소, 기계손의 저감이 가능해져 전 부하효율이 약 0.5 - 1 [%] 정도 향상이 가능하다. 특히 송전선로의 대용량화와 장거리화에 따른 현재의 추세도 볼때 동기리액턴스가 기존발전기보다 1/3 - 1/5 작기 때문에 계통의 정태안정도 향상과 경제성 운용이 가능해진다. 현재 UHV인 1200 kV, 4000 - 5000 MW 용량의 송전선이 운용되고 있는 소련과 같은 계통에서는 2000 MVA 초전도 발전기 적용 효과를 배가 시킬 수 있다.

특히 그림 6에서 보는 바와 같이 630 MVA 급에서는 제조원가가 기존 발전기보다 더 저렴해지기 때문에 600 MVA - 1000 MVA 급 특히 대도시 전력공급으로 위하여 화력발전소 적용후 대용량 원격지 원자력 발전소의 적용이 가능할 것으로 전망된다<sup>3)</sup>.

도심지 근교의 대용량 부하화력 발전소로부터 초전도 발전기를 적용하면 송압변전소 없이 직접 상대적 저전압 (66 kV급정도) 으로 전력 공급(초전도케이블) 가능해져 전력시스템 경제적 운용 측면에서 획기적인 기여를 기대할 수 있다.

4. 2. 2. 초전도 케이블송전<sup>9)</sup>.

앞에서 언급한 대도시 전력공급 문제의 대두도 인한 이해결 방법으로 고온 초전도체 케이블 송전이 검토되고 있다. 송전용량은 6.6 kV에서 2.5 GVA/cct, 154 kV에서 5.0 GVA/cct 가능하므로 기존 OF 케이블 송전과의 동일조건에서 3배 이상 전력공급 가능할 뿐만 아니라 송전거리의 확장 및 전력구(culvert)의 면적 감소등 부가적인 이득을 기대할 수 있다. 그림 7은 이 효과를 상징적으로 나타낸 것이다. 여기서는 도심 발전소에서 대도시 1.8 GW 전력공급을 위하여 154 kV 2000 mm<sup>2</sup> XLPE 전력케이블 3회선이 적어도 필요하게 된다. 만약 부하중가로 3배의 전력공급을 요구하게 되면 기존케이블을 사용할 경우 새로운 전력구 건설이 필요하지만 154 kV급 고온 초전도케이블을 사용하면 기존 전력구로 충분한 전력공급이 가능하게 된다. 현재 연구된 자료에 의하면 송전코스는 고온초전도체 송전에서는 1~2[GVA/root·30 km]에서 경제성이 있기 때문에 앞으로 지하송전 루트 건설이 어려움을 고려해 볼때 가까운 장래에 적용가능할 것으로 생각된다.<sup>14)</sup>

4.2.3. 소용량 SMES<sup>3),10)</sup>

초전도에너지 저장장치를 전기에너지를 직접저장하여 전력변환기술 이용,계통과 연결되어있어 효율(90% 이상)이 높고 속응성이 우수 [msec단위]하기 때문에 부하 평준화에서 부터 급변하는 부하변동억제용 까지 광범위한 적용이 가능하다.

대용량 SMES는 전자력의 지지, 누설자속차폐 및 대용량 코일의 제조 및 설치등 공학적인 문제점 때문에 2015년 경에 실용화 될 전망이지만 소용량 (0.01 ~ 5 MWh)급에서는 건설이 용이하고 유도, 무효전력을 고속으로 제어할 수 있기 때문에 저온 초전도체를 사용하여도 2000년도에 적용할 수 있을것으로 전망된다. 특히 제철소(mill 부하)와 MAGLEV 부하는 설치지역이 전원과 멀리 떨어져 있어 주파수와 전압이 매우 심하게 변동되는 바, 소용량 SMES의 유도, 무효전력 동시 고속제어로 이런 부하를 효과적으로 보상할 것으로 예상된다. 또한 대도시 주변에 설치, 순동예비력으로 이용할 수 있으며 현재 태양광 발전의 전력계통 연계에 있어서 필수적인 Battery의 역할로서도 이용이 검토되고 있다.

4.2.4 초전도 변압기<sup>5)</sup>

AC 저온 초전도체의 선제화기술의 최근의 확보와 기존변압기가 전력기기로서 매우 우수한 특성(고효율)을 가지고 있기때문에 이 분야의 연구개발은 매우 활발하여 있으며, 계속적인 연구가 필요한 시점에 있다. 현재 연구결과로부터 초전도 변압기는 효율향상(0.1 % 정도) 크기 및 중량의 감소 (50 % 정도)의 잇점을 가지고 있고 또한 용량 300MVA 이상에서 기존 변압기 보다 제조 단가에서 경제성있기 때문에 대용량 송전시스템 (tie line)의 송압 변압기로서의 적용이 검토되고 있다. 2000년도경에 초전도 전력시스템 구성시 기존시스템과의 연계문제를 용이하게 해결하기 위하여 이의 적극적인 개발이 시도되고 있다.

4.2.5. 한류기<sup>11),12)</sup>

	기기 설계	운용 및 제어 (계통)	유 지	기 타	개발용량	실용화 가능성 (시기)	
공통 문제점	· 신뢰성 확보 · 냉각시스템의 신뢰성	· 냉각시간 단축 · 열폭주시의 보호 및 제어 · 열폭주 회복 시간 단축	· 기존기와 동등 레벨 · 냉각 시스템	· 원가 절감			
각 기기의 문제점	초전도 변압기	· 고속여자시스템	· 단락시 보호		GW 급	· 1990년 말	
	초전도 변압기		· 단락시 보호		345kV 급	· 전 초전도 시스템 · 속면개발	
	초전도 케이블	· 장거리 케이블의 고신뢰성 냉각 시스템 개발		· 장거리 송전 냉각 시스템 유지보수	Gw/cct	· 고온 초전도 케이블 실현성이 높음	
	대용량 SMES	· 전자력 지지 · 누설자속 차폐 · 냉각시스템 신뢰성 확보	· 열폭주시 에너지 발산 문제	· 대용량 코 코일 유지보수	· 대규모 코일 제작 건설	Gwh급	· 2015년경
	소용량 SMES		· 열폭주시 에너지 발산 문제		· 단락스위치 개발	· 0.01 ~ 5Mwh	· 2000년경 · 가능성 중대
한류기		· 열폭주시 발생 열 제거			· 연속 전류: 약 3kV	· 1990년 말	

표3. 초전도전력기기의 제작과 적용관점에서의 문제점  
Table 3. Main problems of superconductivity - applied components from the fabrication & application viewpoint.

다른 기기들은 초전도 현상을 이용하지만 한류기 초전도 상태에서 常電導의 전이시 고저항을 이용하는 기기이다. 현재 고온 초전도체를 사용하여 소규모 계통시험이 진행되고 있으며 가까운 장래에 적용가능성이 높은 기기의 하나이다. 초전도 한류기는 범용적이지 않거니와, 정류기형 리액터형의 3가지가 검토되고 있다. 전력계통의 적용은 2가지 측면에서 사용이 검토되고 있다.

- 초전도 전력기기의 적용

초전도 전력기기 초전도 선재의 입계전류를 초과하는 단락전류로부터 항상 보호되어야 한다. 따라서 단락전류를 억제하는 초전도 한류기는 초전도 발전기와 초전도케이블 등과 같이 전 초전도시스템 구성이 필수적인 기기의 하나로 적용되어야 하며 부가적으로 초전도기기 설계제작시 전자력 스트레스를 감소시켜 기기의 제작비 감감에도 기여 할 것으로 예상된다.

- 기존 전력기기에 적용

계통의 대용량화와 무부하에 따른 현 계통의 단락 전류의 억제를 위한 연구도 병행되어지고 있다. 이때 고온 초전도체의 한류기는 기존기기와 같이 사용되어도 경제성과 그 적용 효과면에 매우 큰 역할을 기대 할 수 있다.

5. 超電導 電力應用技術의 개발 시나리오 및 기술상의 문제점

2000 - 2015년에 초전도 전력용기기 기술은 대부분 확립될 것으로 보인다.

고온 초전도체의 응용기술은 선재의 개발에 따라 크게 달라질 수 있지만 기존 초전도체 기술이 완성되면 곧 적용이 가능하다. 즉 저온 초전도체에서 선재화 기술과 노우하우 (Know how)가 축적되어 있기 때문에 매우 빠른 속도로 적용이 가능할 것이다. 현재 선진국에서는 초전도 발전기 연구는 실증 Plant 단위까지 개발되어 실험중에 있으며, 일본의 경우 2000년경에 초전도에너지 저장 장치는 현재 미국, 일본 등에서 20 MWh 급 Plant 급의 건설을 시작하여 종합적 기술분석 및 종합 목적으로 연구가 진행중에 있고 중, 소규모용 안정도 향상 SMES 2000년경에 전력계통 번입기는 교류 선재의 개발에 힘입어 전 계통 초전도화 일환으로 활발한 연구가 진행되고 있다. 만약 저손실 안정화 선재가 개발된다면 발전기와 저장장치 보다 기술적인 면에 계통이 쉽게 도입될 수 있을 것으로 보인다.

이상에서 서술한 초전도기기의 전력계통 장래 적용 예를 나타내면 그림 8과 같이 표시할 수 있다.

반면에 초전도 전력기기는 상태적인 시스템 성격을 가지고 있고 또한 극저온 상태에서 운전해야 하기 때문에 실용화를 위하여 다음과 같은 문제점을 해결해야 할 것이다.

- 기기의 고신뢰성 (냉각시스템)
  - 기기의 유지보수의 용이성 (냉각시스템)
  - 기기의 운용과 제어의 용이성 (상온에서 극저온까지의 냉각시간 단축)
  - 편지발생시의 모호 및 제어의 신뢰성확립
- 표 3은 초전도전력기기의 실용화를 위하여 해결되어야 할 중요한 문제점을 나타내었다.

6. 결론

초전도전력기기의 계통적용은 냉각시스템의 신뢰성 확보, 고온 초전도체의 실용화선재 개발여부, 경제성 계고등 문제점을 내포하고 있지만 초전도 발전기, 소용량 SMES, 고온 초전도체 케이블과 한류기는 기기 자체의 매우 큰 장점과 전력시스템의 요구에 의하여 가까운 장래에 계통에 적용될 것으로 전망된다.

따라서 초전도기기의 적용으로 전력계통은 상대적 저전압 대전류 특성을 갖게되어 전력의 발생, 수송 분배 개념을 획기적으로 변화시킬 것으로 평가되고 있다. 여기서 제시한 자료들은 선진국의 관점에 분석된 자료이지만 전력시스템의 저손실, 고성능화, 폭력회화, 경제성 계고 등을 통하여 현재 전력계통의 문제점(계획, 운용상)을 해결할 것으로 전망되는 바 우리나라와 같은 여건에서는 이 전력기기의 장래에 전력계통 도입은 불가피 할 것으로 예상된다.

그러나 국내의 초전도 기술 수준은 그 인식부족, 인력제한 등으로 아직 극히 초보적 단계에 지나지 않는 반면 국외에서는 국가적인 핵심 정책과제로 책정 초전도 재료, 전력기기 및 전력시스템 적용 연구등 광범위한 분야에서 진행하고 있다.

또한 이 기술의 중요성으로 인하여 선진국에서는 모든 영역의 기술을 보호하기 때문에 우리나라는 자체적 기 기술을 개발 (Goal Oriented Research)함은 물론 선진국과 공동연구 등을 통하여 이에 대처해야 할 것이다.

또한 초전도 전력계통용 기술은 전기, 전자, 기계, 금속, 화학과 극저온기술 등 복합적인 전문기술이 필요하고 그 연구개발비가 막대하게 투자됨에 따라 연구소 상호간의 기술협력은 물론 국가적으로 초전도 전력기기의 종합기술 확립하기 위한 협의체를 설립한 연구분야, 투자방법 및 국외 연구 기관과의 신기술 및 정보교환 등 종합 검토, 초전도의 전력계통 조기적용을 위해 노력해야 할 것이다.

참고문헌

1. 正田, "次世代の電力流通技術 - 21世紀への展望", OHM, No.1, PP 26 - 32, 1989.
2. 홍 원표, 임 주일, "전력사업에서의 초전도응용", 대한전기학회잡지, vol.37, No.2, PP.13-23, 1988.
3. Y. Hashimoto, S.Ito, "Expectation to the Application of Superconducting Technology to Power System", Cigre, Paris, 26th Aug-1st Sep., 1990.
4. 박 상기, "電力事業 三十年の變遷과 向後展望", 대한전기학회잡지 vol.40, No.4, PP 5-22, 1991.
5. M.Klinger, et.al, "The Prospect of Superconducting Technology Impact on Future Power System Equipment in the United State", Papers of the 1990 Panel Sessions of Cigre, Paris, 26th Aug.-1st Sep., 1990.
6. E.Gregory, "Conventional Wire & Cable Technology", Proceedings of The IEEE, vol.77 No.8 Aug., 1989.
7. K.Tachihawa, et.al., "Potential Methods for the Fabrication of High-Tc Superconductors for Wires and Cables" PP.1124-1131, Ibid
8. "20KVA 초전도 교류발전기의 개발에관한연구"(1) 한전기술연구원 (KRS - J10), 4월, 1989.
9. 電力中央 研究所, "液體窒素冷却 交流 超電導 ケーブルの概念設計と經濟性評價", 電力中央 研究所 報告(W9914), 8월, 1988.
10. 홍 원표, "초전도에너지 저장장치의 개발현황 및 전망", 대한전기협회지, 9월, PP. 25-30, 1990.
11. G.C.DAMSIRA, et.al, "Superconducting Technology for Current and Switchgear", Cigre, Paris, 26th Aug - 1st Sep., 1990.
12. 田中, "超電導 送變電機", 電力 流通技術을 變える! OHM, No.1, PP 33 - 41, 1989.
13. I.A.Glevov, et.al, "Superconducting Turbo-Generators and Future Trends of their Development" World Electrotechnical Congress, Moscow, PP1-38, June, 1977.
14. 星野, et.al., "NbaSn および 酸化物 超電導體を用いた 1~3GVA級 超電導 ケーブルに關する 考察 電學論誌 B, vol.108, No.9, PP 431-438, 1988.

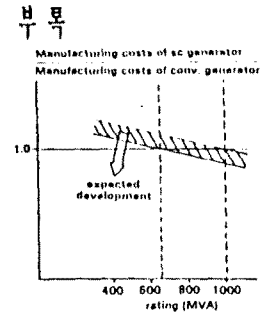


그림 6. 초전도 발전기의 경제적 장점  
Fig 6. Economic advantage of SC generator

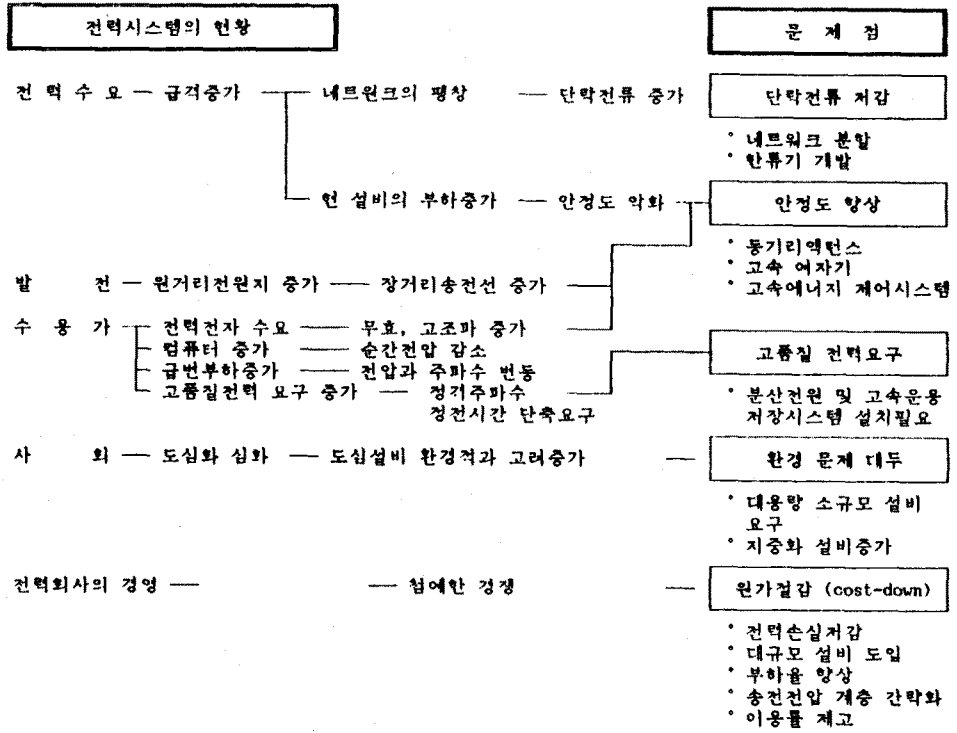


그림 1 전력계통의 최근 현황과 문제점  
Fig.1 Recent trends and requirements in power system

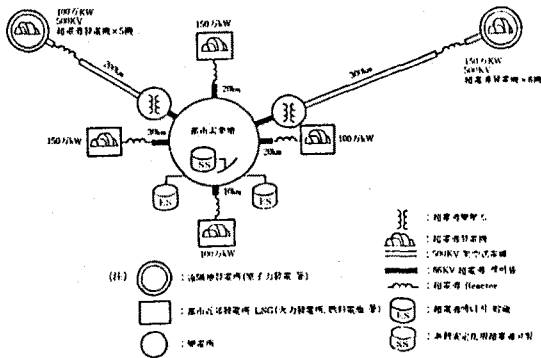


그림 7. 초전도케이블 적용예  
Figure 7. Example of future application of Superconductivity applied Components to power system.

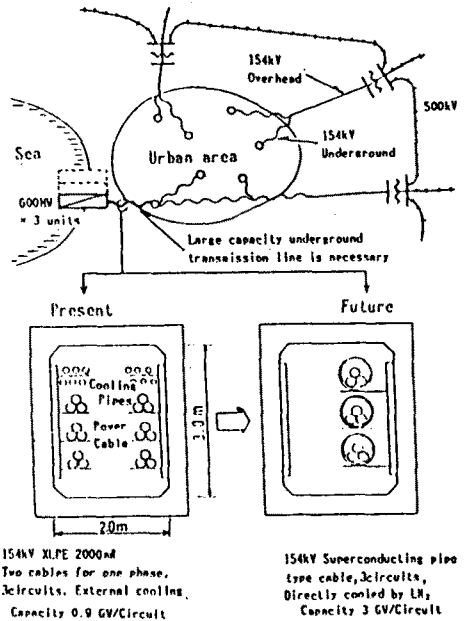


그림 8. 초전도케이블 적용예  
Figure 8. Example of future application of Superconductivity applied Components to power system.