초전도전력설비의 구성 및 운전

Operation and Configurgation of Superconducting Machines and Devices in Utility System

홍 원 표* 대전산업대학교
이 원 규 대전산업대학교
곽 희 로 숭실대학교

Abstract

An image of future power system which has introduced superconducting generator, cable, transformer, fault current limiter, SMES and so on is presented. Conceptual designs of each SC machines and devices are carried out. The SC cable and SFCL utilize the high Tc superconductor(HTS) cooled by liquid N_2. Other devices use low temperature superconducting cooled by He. The SC power system models are proposed detailedly. In viewpoint of the operation and control SC power system, The concrete design direction and effective role of each SC apparatus are investigated. In this paper, it is pointed that superconducting fault limiters(SFCLs) should play an important part of the quenching current level coordination to prevent the other SC devices from quenching. Finially, SFCL are also expected to be very effective to introduce flexibility of power system configuration and operation due to their possibility to enhance transient stability and reduce short circuit current.

1. 서론

전력설비로서의 초전도기기는 대도시의 급격한전력수요 증가에 따른 전력공급의 난제를 효과적으로 해결하기 위한 유력한 방안의 하나로 평가 받고 있다. 전력설비분야에 적용될 기기는 선진국의 기술개발동향 및 계통설비의 요구조건 등에 비추어 볼 때 초전도발전기, 초전도변압기, 초전도케이블,SMES,전류제한기 및 분로리액터등이 검토되고 있다[1),2),3),8),10),13),17),21)] 초전도기기가 전력시스템설비로서 구성될 경우 초전도특성에 기인한 기기자체의 장점 뿐만아니라, 시스템관점에서의 고성능,콤팩트화등의 메리트도 매우 지대하다. 또한 이 초전도 전력설비는 기존 상전도시스템과 비교할 때 상대적 저전압시스템구성이 가능하므로 기존의 초고압을 통한 전력수송관점과는 아주 다른 양상을 가진다. 즉 대전류를 전제로한 대용량 전력설비의 구성하여 운전제어해야하는 새로운 과제를 갖고 있다. 현재 초전도기기의 계통적용은 2000년도부터 소형SMES와 고온초전도체 초전도전류제한기등은 상전도 전력기기들과 병행하여 운전되는 형태인 하이브리드 전력시스템과 2010-2020년부터는 특수한 요구조건이 있는 적용개소 즉 해안매립지 대용량발전소와 대도시대용량, 고밀도송전등에서 전초전도시스템을 구성하여 운전될 것으로 전망된다. 따라서 초전도 기기의 전력계통 적용은 지금까지 분석한 전력계통의 문제점의 해결방안으로 매우 중요한 역할을 할 것으로 확실시된다.

그러나 전력시스템에 도입되어 운전될 초전도기기는 경제성과 실용화 기술이 완성된다해도 계통에서 운전되기 위해서는 신뢰성확보를 위하여 실증시험이 장시간 요구되며 또한 계통운전시의 문제점 즉, 극저온상태에서의 운전방법과 새로운 개념의 보호협조등 종합적이고 새로운 계통운전기술을 확립해야만 가능하다[15),16),20)]. 이는 초전도기기가 상대적 저전압의 대용량(대전류)으로 시스템도입시 고전압 중심인 기존 전력계통과는 다르게 새로운 운전패턴이 필요하며 또한 다양한 계통조건에서 신뢰성있게 운전이 가능하도록 실제적인 연구도 지속해야만 한다. 특히 대용량을 가진 초전도전력시스템에서는

신뢰성확보의 일환으로 뇌와 개폐서지로 부터 프리한 서지프리시스템을 구축할 필요가 있고 따라서 현재 시스템에서 절연의 중요한 조건으로부터 완화시킬 수 있는 시스템 구축이 가능하다. 그러나 초전도전력시스템은 변압기의 여자돌입전류나 사고전류(과전류 포함)에 의하여 각기기의 초전도선이 초전도상태에서 상전도상태로 전이(퀜치라함)하여 운전지장을 받을 가능성은 항상 있다. 따라서 최악의 경우에도 피보호기의 초전도선의 임계전류이하로 운전해야만 계통운용시 초전도기기의 장점을 최대로 이용할 수 있다. 각기기의 초전도선의 퀜치전류레벨을 어느정도 설정하여 협조운전할 것인가가 즉,퀜치전류레벨협조가 계통운전상 가장 중요한 문제가 된다[21],[22],[23].

따라서 이의 근간이 되는 초전도전류제한기의 계통도입 검토와 상호협조는 기존시스템의 절연협조 못지않게 매우 중요한 요소이다. 이에 본연구에서는 초전도기기가 계통에 도입될 경우를 상정하여 운전관점에서 초전도발전기, 초전도변압기, 초전도케이블, 초전도전류제한기 및 SMES의 계통적용시나리오 와 개념적인 적용모델구성하여, 분석하였으며 최종적으로 이를 토대로 초전도전력기기의 전력시스템구성방안과 운전특성도 분석하여 이 전력설비의 구성의 타당성도 제시하였다. 결론적으로 본 연구는 거시적인 관점에서 초전도기기의 운전을 중심으로 제안된 모델을 정성적인 분석을 시도 하였으며 추후에는 제안된 모델을 중심으로 정량적인 관점에서 연구를 진행할 예정이다.

2. 초전도기기가 도입될 분야

초전도기기는 그 경제적인 메리트와 전력계통의 새로운 기능을 가진 기기의 요구로 인하여 2000년도 초반에는 상전도시스템의 기기단위별로 도입운전될 것으로 전망된다.그후 점차로 도심지전력공급의 일환으로 전초전도시스템을 구성하여 운전되는 시나리오는 쉽게 예측할 수 있다. 따라서 현 전력계통을 중심으로 한 설비단위 별로 초전도기기가 도입될 분야로는설비단위별로 크게 3분야로 아래와 같이 요약할 수 있다.

(1) 발전기의 완전초전도화(전초전도발전기의 실용화 기술 개발로 기기단위로 계통 적용하는 방식)

(2) 발전소의 초전도화(발전기,모선,변압기, 전류제한기를 실용화하여 초전도시스템구성에서 제일 취약한 열절연 및 효과적인 냉각시스템구성의 용이성 도모)

(3) 변전소분야의 초전도화 (송전케이블을 중심으로 한 변압기,조상설비 및 SMES의 실용화로 대도시 전력공급 모델로 이용)

2.1 발전기의 완전초전도화

발전기전기자의 초전도화는 전자기특성, 기기설계, 열설계, 전기절연설계면에서 매우 엄격한조건을 요구한다. 특히 전기자권선에 작용하는 전자력은 크고 그 지지구조설계는 도체냉각설계와 전기절연설계와의 트레이오프관계가 있다. CIC(Cable - in Conduit)형 도체에 의하여 해결될 것으로 검토되고 있다. 전기자권선에 걸리는 자속밀도는 1-2 T로 그 중에서 저교류손실을 확보할 필요가 있고 교류기기중에서는 최고 엄격한 조건이 된다. 따라서 초전도전기자의 개발은 교류초전도기기의 최종적인 목표이며 발전소의 초전도화와 교류기기의 초전도화에 견인차적인 역할을 할 것으로 예상된다. 계통측면에서는 대도시의 지중케이블을 초전도화 하면 전초전도발전기를 도시근교에 설치 직접 케이블 시스템에 접속하여 고효율 대용량저전압송전을 쉽게 실현할수 있다.

2.2 발전소의 초전도화

그림1은 전초전도발전소의 구성을 나타낸 것이다. 전력계통에 초전도를 도입하는 경우 극저온냉동기 설치에 의하여 냉동시스템의 경제성, 효율에 관련한 스케일 메리트를 최대한 이용 초전도기기의 계통도입을 용이하게하는 방책이 된다. 또한 초전도기기을 저온과 연계하는 데도 상온을 경유하는 전류리드에 의한 열침입을 경감함으로서 전체의 열효율을 높이는 역할을 한다. 발전소에서 저전압대전류모선을 초전도케이블로 사용하면 손실의 저감은 물론 발전소의 레이아웃의 자유도가 크게 증대되고 또한 해안 발전서로부터 내륙의 변전소 까지 (~10km)을 초전도케이블로 사용 승압변압기를 발전소에 설치하지 않고 변전소에 설치함으로서 염해방지, 해안도심지 환경보전측면에서도 유리하다.

2.3 변전소의 초전도화

그림2는 전초전도변전소의 구성예를 표시한 것이다. 적용할 수 있는 초전도기기도 다양화되고 변전소의 콤팩트화에 크게 기여하게 된다. 초전도케이블을 대도시 전력공급용으로 상정하게 되면 도시내 초고압변전소의 초전도화를 고려할 수 있으며 그 효용성은 앞으로 크게 증대될 것으로 예상된다. 실제 적용될 초전도기기의 종류 및 변전소 적용모델은 고온초전도케이블송전을 중심으로 계통의 다양한 요구조건에 따라 다양한 적용모델을 상정할 수 있다. 예상되는 초전도기기는 대도시전력공급용인 초전도 케이블, 변압기 , 조상설비, SMES(로드레벨링, 부하변동보상용) 들수 있다.

3. 초전도기기가 도입될 전력계통 모델

2000년 초기에 기존 전력시스템과 혼용운전이 이루어 질 하이브리드 시스템과 2010년경 대용량 고밀도 송전이 요구되는 대도시의 전력공급시스템의 가능성이 많은 전초전도 시스템으로 구성될 것이라는 2가지 경우를 상정할 수 있다. 여기서는 2시스템의 개념적인 모델을 케이스별로 제시하고 관련기기의 운전조건 운전기기의 형태등에 대하여 분석하였으며 특히 하이브리드 시스템의 경우에 각 초전도기기의 사양도 개략적으로 검토하였다. 하이브리드시스템의 운전경험을 통하여 운전기술을 확립한 후 신뢰성이 실증되면 발전설비에서 변전설비에 이르는 전체의 기기를 초전도화하는 초전도전력시스템을 대도시 전력공급을 위하여 계통에 적용될 것으로 전망된다.

3.1 하이브리드시스템

그림3은 가까운 장래에 초전도 전력시스템과 기존 시스템이 어떻게 운전이 가능한가를 보여주는 하이브리드 전력시스템을 개념적으로 나타낸 것이다. 이 시스템의 주요기기 개략적으로 설명하면 다음과 같다.

초전도기기는 우선 기존시스템에 경제성이 뛰어난 SG,소규모 SMES, 그리고 계통의 강한 필요성에 의하여 도입될 SC와 SFCL등을 고려할 수 있다. 두시스템은 다른 회로정수를 가지고 있기 때문에 수전단 쪽에 연결시켜 운전하는 것이 계통운용상 유리하다. 초전도 시스템에서는 기기는 현재 기술로 제작이가능하고 신뢰성이 확립된 금속저온초전도체(NbTi AC)를 사용하고 초전도 케이블과 SFCL은 고온초전도체를 사용하여 경제성을 한층 높인다. 초전도전력시스템은 뇌서지와 개폐서지에 프리한 서지프리 시스템을 구축하여 케이블과 기기들의 BIL을 감소시켜 신뢰성이 확보되도록 기기의 사이즈를 최대로 콤팩트하게 한다. SG는 전초전도발전기를 사용하여 손실을 최소화 시키고 대용량 발전기에 과도안정도를 보장하기 위하여 발전기단자에 안정화용 SMES를 도입한다.만약 기기의 신뢰성을 높이기 위하여 댐퍼가 없는 형태의 전초전도기기을 사용하는 경우에는 SFCL도입하여 사고전류에 억제하고 계통안정도향상도에도 기여 하도록 한다. SC의 충전용량은 (154kV, 1000MVA, 100km) 약 300MVA로 추정되며 송전전력의 약 1/3이다. 이러한 충전전류는 수전단측에 설치하는 공심초전도 단권 변압기에의하여 보상하도록하여 전압안정성도 도모한다.

특히 송전단에서의 연결, 운전하는 경우에는 초전도발전기와 기존발전기사이의 횡류가 흐르기 때문에 횡류보상장치가 필요하고 또한 병렬 운전중에 계통사고등의 고장에 의하여 재폐로가 행해 지는 경우에는 초전도 발전기는 한계송전전력이 크기 때문에 문제가 없지만 기존 발전기는 탈조로 이어질 가능성도 검토 되어야 한다.

위하여 SFCL을 설치 운용할 수 있다. 또한 수전단측의 버스접속라인에 SFCL을 설치 최대고장전류를 1.5PU보다 작게 제한한다.

기존시스템에서 차단기의 한계용량을 초과하는 경우에도 이를 효과적으로 억제하기 위하여 SFCL설치하여 운전할 수 있다. 본 연구에서는 초전도기기 각각의 사양과 특징에 대하여 검토했지만 초전도케이블에 대해서만 제시한다.

최근에 고온초전도체의 개발진전에 따라서 Bi 테이프타입의 고온 초전도도체가 유력한 것으로 판단된다. 이 임계전류는 적어도 ±0.1T에서 10^4A/㎠정도이어야 하며 이도체의 교류손실은 0.1T와 77K에서 약 10kW/㎥이다. 냉각시스템을 포함한 전손실은 3상 154kV, 3753A, 1000MVA, 100km에서 약 0.9%로 추정되었다. 고온초전도케이블의 특성은 1과같고 그 구조는 그림4에 나타냈다.

3.2. 전초전도시스템

3.2.1 全超電導 시스템의 구성방안

초전도기술은 전기에너지의 발생,저장,수송,변환의 모든 분야에 적용될 가능성이 있지만 기존 전력시스템의 기기 즉 발전기 변압기, 송전선등을 초전도 전력기기로 모두 치환하기는 운전,보호라는 측면에서 그 가능성은 어려울 것으로 전망된다.따라서 지역적으로 또는 특징을 살릴수 있는 시스템을 평가한후 전전력시스템에 초전도 기기를 적용하여새로운 시스템을 구축하는 것이 그 운영상 경제성과 신뢰성을 제고시킬 것으로 보인다.

초전도 기술은 지금까지의 전력기술과 다르게 본질적으로 저전압·대전류기술인 것을 고려할 때 원격지의 발전소로 부터 부하중심지까지 일정한전압으로 변압기 없이 전력을 수송하는 것도가능하다. 특이 전력수요가 집중된 도심부에 전력을 공급할 루트를 확보하는데 있어서 큰 역할을 수행할 수 있다. 또한 SMES를 전력수요의 중심지에 배치함으로서 전력시스템의 전체의 제어성을 향상 시키고 발전 송전설비를 유효하게 이용할 수 있는 부가적인 효과도 기대할 수 있다.

이상과 같은 점을 고려할때 미래의 전력시스템의 모델은 그림5와 같다. 이 모델에서는 기존의 초고압 외륜선보다도 내측에 초전도 케이블에의한 새로운 외륜선을 설치하게 된다.

원격지에서 상전도 발전기를 이용하여 대도시 주변의 초전도케이블 외륜선까지 공급된다. 또한 초전도발전기를 시설한 도시근교화력으로 부터 발전된 전력도 초전도케이블 외륜선으로 부터 도심지 초전도지중케이블

에 연결시켜 전력을 공급한다. 이때 초전도케이블 외륜선부근에 설치되어 있는 SMES에 의하여 계통의 안정도제어, 부하평준화등을 가능케하여 계통의 신뢰성과 경제성을 대폭 제고시킬 수 있다. 이 제한한 모델은 실현하기에는 기술적,시간적 그리고 엔지니어링상의 문제점이 남아 있지만 종래기술과 혼용되어 사용하면(장거리 대용량 송전은 초고압으로 담당) 가까운 장래에 실현할 수 있다.

3.2.2 교류방식 전초전도시스템 상세 모델

전절에서 설명한 하이브리드시스템의 운전경험을 통하여 운전기술을 확립한후 신뢰성이 실증된후 발전설비에서 변전설비에 이르는 전체의 기기를 초전도화하는 초전도전력시스템을 대도시 전력공급위하여 계통도입이 예상된다. 먼저 교류방식의 전초전도 시스템의 상세한 모델은 그림6에 나타냈다.

초전도발전기는 전초전도 발전기를 도입하여 도시근교 대규모발전소로부터 SFCL과 66kV또는 154kV SC케이블로 대도시 근교 외곽변전소까지 전력을 공급할 수 있다. 전원에서 부하평준화용SMES까지는 교류방식과 직류방식도입을 검토할 수 있다. 교류방식에 있어서 전초전도발전기 승압용 SCTr과 SFCL 그리고 154 또는 345kV급 고온 초전도케이블 이나 기존의 가공송전선으로 도시근교 변전소(345kV/ 66kV또는 154kV)까지 전력수송을 상정할수 있고 도심지는 66kV급 초전도 케이블을 설치하고 케이블 양단에 고장전류 억제를 위하여 SFCL과 무효전력 보상을 위하여 SC리액터를 설치한다. 2차 수전단변전소에 변동부하보상용 SMES를 설치하여 계통안정향상에 기여한다. 열설계의 합리적인 견지에서 차단기도 저온동작이 되도록 선정한다. 이 시스템은 기존 상전도시스템과 비교할때 50% 손실을 저감할 수 있다.

4. 결론

초전도전력기기의 계통적용은 냉각시스템의 신뢰성확보, 고온 초전도체의 실용화선재 개발여부,신뢰성과 경제성제고등 문제점을 내포하고 있지만 초전도 발전기, 소용량 SMES, 고온 초전도체 케이블과 전류제한기는 기기 자체의 매우 큰 장점과 전력시스템의 요구에 의하여 가까운 장래에 계통에 적용될 것으로 전망된다.그 적용방안은 여러가지가 검토되고 있지만 먼저, 2000년도 초반경에 도입될 것으로 예상되는 초전도기기와 기존 상전도기기가 혼용운전되는 "하이브리드전력설비"이고 다른 한 형태는 대용량 고밀도 송전이 요구되는 대도시의 전력공급의 난제를 해결하기 위한 고온초전도 케이블 송전이 중심이 되는 전도전도전력시스템이라 예상된다.따라서 초전도기기의 적용으로 전력계통은 상대적 저전압 대전류 특성을 갖게되어 전력의 발생, 수송, 분배 개념을 획기적으로 변화시킬 것으로 평가되고 있다. 전력시스템의 저손실, 고성능화, 콤팩트화, 경제성 제고등을 통하여 현재 전력계통의 문제점(계획,운용상)을 해결하기 위한 매우 효과적인 대안으로 받이드려지고 있다.우리나라와 같은 여건에서도 이 전력기기의 장래에 전력계통 도입은 불가피 할 것으로 예상된다.

따라서 본장의 연구에는 초전도기기가 계통에 도입될 경우를 상정하여 *운전관점*에서 초전도발전기, 초전도변압기, 초전도케이블, 초전도전류제한기 및 SMES의 도입 메리트, 계통운전특성 및 계통적용시나리오 와 개념적인 적용모델을 분석하여, 제시하였으며 최종적으로 이를 토대로 초전도전력기기의 전력설비 구성방안과 운전특성도 분석하여 이 구성의 타당성도 제시하였다. 결론적으로 본 논문의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) SFCL은 단락전류억제, 차단기단락용량의 저감, 계통의 안정도 향상 및 초전도기기의 전류용량저감등 대전류 시스템인 초전도전력시스템의 운전과 보호관점에서 이 SFCL의 *권치전류레벨*을 적정하게 선정하는 것은 기존 시스템의 절연레벨을 선정하는 것 못지 않게 중요하다. 또한 초전도기기의 계통적용을 위해서는 다양한 계통조건에서 운전이 가능하고 신뢰성 있는 SFCL의 개발이 우선 전제되어야 한다. 교류초전도 시스템에서 사용이 가능한 고온 초전도 SFCL의 개발도 초전도 전력시스템의 조기 구성에 중요한 요소이다. 아울러 초전도시스템의 단락전류 억제와 보호를 위하여 다수의 전류제한기를 사용하는 경우 상호 보호협조를 어떻게 할 것인가는 매우 중요한 연구과제이다.

(2)초전도시스템과 상전도시스템이 혼재된 계통적용 모델에서는 주로 수전단측을 연계하는 것이 계통운용상 효과적인 방법이며 특히 연계점에 SFCL을 적용하여 고장시 고장전류의 억제는 물론 이 SFCL의 특특한 기능에 의하여 고장시에도 시스템 상호간에는 고자의 영향을 완전히 배제할 수 있다.또한 이러한운전시 수전단측에 접속된 초전도 단권 변압기로 초전도케이블의 충전전류도 보상할 수 있는 시스템 구성도 가능하다.

(3) 초전도지중케이블은 현재 금속계 초전도체보다는 고온초전도체를 이용한 송전시스템이 경제성과 신뢰성 면에서 그 메리트가 우수하기 때문에 상대적 저전압으로 대도시의 전력수요가 현재 약 1.5배이상이 되는 시점인 2010년도경에 대용량 고밀도 송전시스템에 계통에 적용될 전망이다.

(4)도심지전력공급시스템 모델과 도시근교의 연안발전소로부터 초전도케이블을 이용한 2종류의 초전도 전력시스템 모델을 제한하였다. 우선 화력발전소에 154kV전초전도발전기를 사용하여 변압기없이 직접 154[kV] 초전도 케이블로 초전도 외륜선에 공급되고 여기서 도심지통과하는 154kV의 초전도케이블로 부하중심지 배전용변전소까지 전력을 공급하는 방안이다. 이는 발전소의 승압변압기없이 상대적으로 저전압이기 때문에 경제성이 뛰어나고 현재의 초전도 기술로

도 그 실용화 가능성이 가장 높기 때문이다. 이는 2장에서 제시한 발전소의 초전도화와 대도시 초고압변전소의 초전도화의 구체적인 모델의 하나이다.

초전도시스템과 상전도시스템이 혼재된 모델로 신뢰성있는 초전도변압기의 실용화가 선결과제이다. 본 논문에서 제안한 모델은 정성적인 평가에 의한 비중이 크기 때문에 계속 적으로 분석적인 평가 방법을 시도, 그 타당성을 입증할 예정이다.

결론적으로 본연구는 거시적인 관점에서 초전도기기의 운전을 중심으로 제안된 모델을 정성적인 분석을 시도 하였으며 다음 연구에는는 제안된 모델을 중심으로 정량적인 관점에서 연구를 진행할 예정이다.

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. E. Gregory, "Conventional Wire & Cable Technology", Proceedings of The IEEE Vol.77, No.8, Aug., 1989.

5. K. Tachihawa, et.al., "Potential Methods for the Fabrication of High-Tc Superconductors for Wires and Cables" PP.1124-1131, Ibid

6. "20KVA 초전도 교류발전기의 개발에관한연구"(1), 한전기술연구원 (KRS - J10), 4월, 1989.

7. 電力中央 研究所, "液體窒素 冷却 交流 超傳導 ケ-フ"ルの 概念 設計と 經濟性 評價", 電力中央研究所 報告 (W9914), 8月, 1988.

8. 홍 원표, "초전도에너지 저장장치의 개발현황 및 전망", 대한전기협회지, 9월, PP. 25-30, 1990.

9. G. C. DAMSIRA, et. al, "Superconducting Technology for Current and Switchgear", Cigre, Paris, 26th Aug - 1st Sep., 1990.

10. 田中, "超電導 送變電か", 電力 流通技術を 變える!" OHM, No.1, PP 33- 41, 1989.

11. I. A. Glevov, et. al, : "Superconducting Turbo-Generators and Future Trends of their Development" World Electrotechnical Congress, Moscow, PP1-38, June, 1977.

12. 星野, et.al., "Nb_3Sn および" 酸化物 超傳導體を用いた 1-3GVA級 超傳導 ケ-フ"ルに 關する 考察" 電學論誌 B, Vol.108, No.9, PP.431-438, 1988.

13. 홍원표, "초전도재를이용한전력환기기", 대한전기학회지, Vol.42, No. 12, pp.5-17, 1993.

14. T. Kato, et al., " Reduction Effect on Instantaneous Voltage Dip in Advanced Electric Power System with Superconducting Power Transmission Cable", T. IEE Japan, Vol.114-B, No.6, pp. 609- 616, 1994.

15. 홍원표, "초전도전력기기 전력계통적용모델 제안", 대전산업대학교 논문집, 제12권 2집, pp. 261-276, 1995 12월.

16. 홍원표, " 초전도전력시스템에서의 초전도전류제한기의 운전방안", 대한전기학회1996년도하계학술대회 논문집 -B, pp. 764-767, 1996.

17. "초전도 전력기술 개발 기본계획", 전력연구원 Report(KEPRI-95L45), 1995 11.

18. T. Verhaege, et al., "Progress on Superconducting Current Limitation Project for The French Electrical Grid", IEEE Trans. On Magnetics, Vol. 30, No. 4, July 1994.

19. T. Hara, et al., " Development od A New 6.6kV/ 1500A Class Superconducting Fault Limiter for Electric Power Systems", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 8, NO. 1, Jan. 1993.

20. S. Sekine, et al., " On Fault Current Limiting & Specification of Superconducting Fault Current Limiters", IEEJ Trans., Vol.114-B, No. 9, pp.907-914,1994.

21. Technoba," 超電導電力應用技術開發Total System等の 研究", 1994年 New Sunshine計劃 報告書, 1995.

22. Y.J. Tang, et al.," Quenching Current Level Coordination in Superconducting Power Transmission System", IEEJ Trans., Vol. 113-B ,No. 9, pp. 981-986,

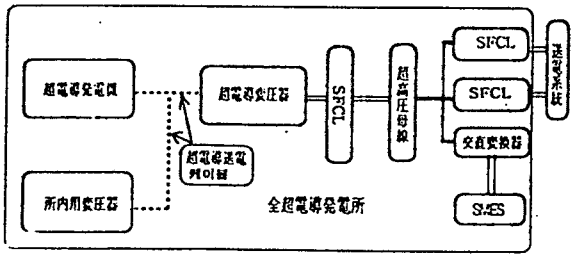

그림1 전초전도발전소의 구성

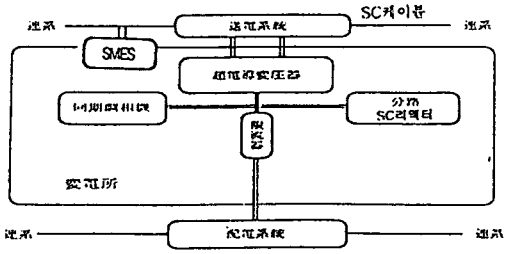

그림2. 변전소의 초전도화 구성

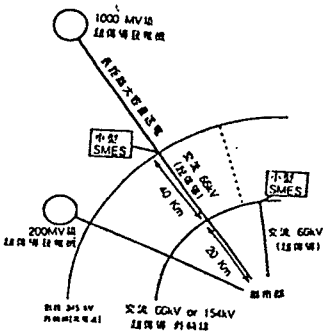

그림 5. 전초전도전력시스템 적용 개념도

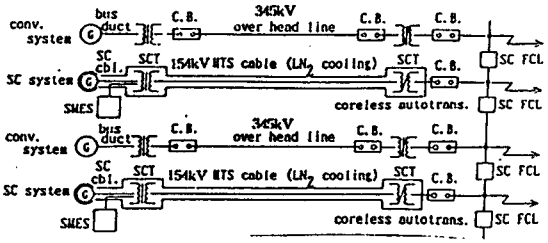

그림 3. 하이브리드시스템 설비

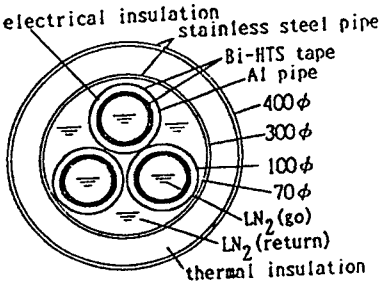

그림4. 초전도케이블 구조

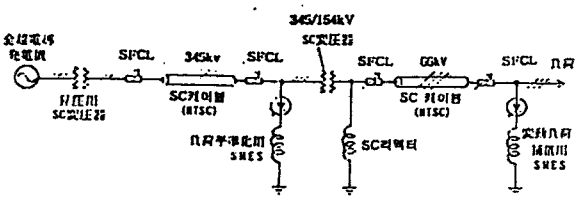

그림6 교류방식 전초전도시스템의 상세모델