

대용량 초전도 신전력계통 개념설계

이 승 렬 김 종 율 윤 재 영 이 병 준*
한국전기연구원 고려대학교*

Concept Design of Superconductivity Power System

S. Lee J. Kim J. Yoon B. Lee*
Korea Electrotechnology Research Institute Korea University*

Abstract - Korean power system has some problems like as curtailing investment and the NIMBY (Not In My Back Yard) phenomena, because of power demand concentration in downtown area. In this time, superconducting power devices rise as a very attractive solution. This study proposes a basic concept of superconductivity power system with bulk capacity, and identifies the items for technical and economic analysis. The proposed system consists of superconducting cables/transformers/FCLs(fault current limiter). The basic concept is to replace 154kV conventional cables with 22.9kV superconducting cables and to convert a 154kV substation into a 22.9kV switching station in downtown area.

1. 서 론

국내계통은 대도시에 부하가 집중되어 있으나[1], 민원문제 등으로 인한 전력설비의 입지문제가 심각할 뿐만 아니라, 고장전류 문제 역시 대두되고 있는 실정이다. 이러한 문제들의 해결방안 중 하나로 고려되고 있는 것이 초전도 전력기기이다. 즉, 동일한 부피에서의 대용량화가 가능한 초전도케이블과 변압기, 대도시 고장전류를 저감시킬 수 있는 초전도한류기 등이 그 예이다. 현재, 전세계적으로 초전도 전력기기의 개발이 가속화되고 있으며, 국내에서도 과기부의 프론티어사업 일환인 DAPAS 프로그램을 통해서 초전도케이블, 초전도한류기, 초전도변압기, 초전도모터 등이 개발되고 있다. 초전도기기의 개발과 함께 다양한 계통적용 관련 연구가 진행 중에 있으며 [2-3], 특히 22.9kV 초전도케이블/한류기, 154kV/22.9kV 초전도변압기의 미래계통 적용에 대한 기초연구가 진행 중에 있다[4-5]. 본 논문에서는 미래계통에서 초전도 전력기기를 병행 적용하여, 기존 154kV계통을 점차적으로 22.9 kV 초전도계통으로 대체하는 것을 기본 개념으로 하는 대용량 초전도 신전력계통을 제안한다. 대용량 초전도 신전력계통은 국내 대도시의 전력기기의 입지문제, 고장전류문제 등을 개선할 수 있을 뿐만 아니라, 향후 전력계통의 패러다임을 바꿀 수 있는 획기적인 방안이 될 것으로 예상된다. 본 개념은 초전도기기의 저압대용량 송전 특성을 이용한 것으로서, 도심 154kV 변전소를 22.9kV 개폐소로 대체하는 특징을 갖는다. 또한 대도시 변전소를 생략함으로써 경제적, 환경적, 사회적 이득이 막대할 것으로 판단된다. 154kV 변전소에 비해 22.9kV 개폐소는 부지가 30%이하이며, 변전설비 비용도 저렴하고, 토목공사비 역시 대폭 줄일 수 있다. 특히, 부하밀도가 높은 대도시는 NIMBY현상 등에 의한 민원으로 인하여 전력기기의 입지문제가 심각할 때, 제안된 대용량 초전도 신전력계통의 경우, 이러한 문제를 해소시킬 수 있을 것으로 예상된다. 본 논문에서는 대용량 초전도 신전력계통의 기본개념을 제안하고, 기술성/경제성 검토사항에 대해서 간략히 고찰하였다.

2. 대용량 초전도 신전력계통 도입배경

국내 전력부하는 꾸준한 성장을 나타내고 있으며, 지역적으로는 서울을 비롯한 수도권 지역에 매우 집중되어 있다. 전력공급 신뢰도를 높이고 전력가격을 안정하게 하기 위해서는 향후 수요증가에 대한 충분한 송변전설비의 확충이 요구된다. 그러나 집단민원 등으로 인한 건설기간 장기화, 전력설비에 대한 부정적 시각에 따른 부지확보 곤란 등의 문제로 인하여 원활한 전력설비의 확충에 어려움이 있는 실정이다. 특히 서울과 같은 대도시의 경우 빌딩의 집중, 도시기능의 고도화에 의해 부하밀도가 높아짐에 따라 지중케이블 및 변압기의 대용량화가 불가피하지만, 송변전기기의 용량증대에는 한계가 있다. 또한, 지중케이블의 복수회선 포설은 과밀화된 도심부에서 부지를 확보하는 데에 어려운 문제가 있고, 다회선 포설시 이에 따른 토목공사비의 과중한 부담 때문에 어려움이 직면하고 있다. 지중 케이블 용량의 한계와 다회선 포설에 따라서는 지속적인 도심내의 변전소 신, 증설도 필요해지며 이는 전체적인 전력공급 비용 증가는 물론이고 민원문제와 환경적인 측면에서도 부정적 영향을 미친다.

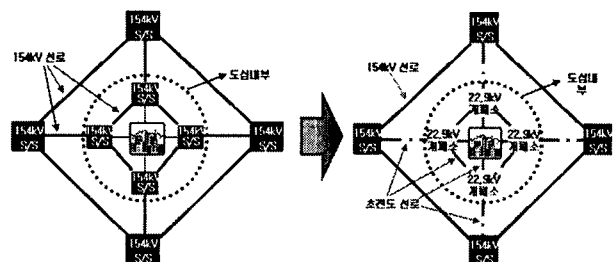
이러한 상황에서 초전도 전력기기의 계통적용은 매우 좋은 대안의 하나로서 대두되고 있다. 저전압·대용량의 초전도케이블을 적용하는 경우 도심내 154kV 변전소를 22.9kV 개폐소로 대체할 수 있으므로 송변전설비의 입지문제를 상당부분 해소할 수 있을 뿐만 아니라, 경제적/환경적 이득이 막대할 것으로 예상된다. 즉, 송전관로(지하전력구, 동도) 건설비를 대폭적으로 경감시킬 수 있으며, 토목공사에 의한 도심내 교통체증도 완화시킬 수

있을 것으로 판단된다. 또한, 초전도변압기는 상전도변압기에 비해서 부피 및 중량이 적으므로 기존 변압기를 대체할 경우, 추가설비부지 확보 없이 용량증대가 가능하다. 또한 변압기 냉매로서 기름 대신 저가의 친환경성을 갖는 액체 질소를 사용하므로 폭발가능성이 없을 뿐만 아니라 환경오염을 유발하지 않는 장점이 있다. 대용량의 154kV/22.9kV 변압기를 계통에 적용하는 경우, 배전계통의 고장전류 크기가 매우 커지게 된다. 송전계통과 달리 배전계통의 고장전류 문제 해소방안으로는 변압기 %임피던스를 크게 하거나, 대용량 차단기로 교체하는 등의 방안이 있을 수 있지만, 이러한 방안들은 정상상태에서 전압/무효전력 문제에 악영향을 미치거나 비경제적이라는 단점이 있다. 반면에, 초전도한류기는 정상상태에서는 임피던스가 거의 0(zero)으로서 계통에 영향을 미치지 않지만, 고장상태에서는 임피던스가 증가하여 고장전류를 크게 감소시키는 효과를 나타낸다. 그러므로 초전도한류기를 적용함으로써 고장발생시 전력계통을 안전하게 보호할 수 있음은 물론이고, 고장용량이 초과되는 송변전 설비를 교체하지 않아도 되므로 경제적으로도 큰 효과를 볼 수 있을 것으로 예상된다.

3. 단계별 추진전략

대용량 초전도 신전력계통은 <그림1>과 같이 154kV 송전선로를 22.9kV 대용량 초전도케이블로 대체함으로써 궁극적으로는 도심의 154kV 변전소를 22.9kV 개폐소로 변환시키는 것을 기본으로 한다. 그러나 현실적으로 도심 내부의 모든 154kV 변전소를 일시에 22.9kV 개폐소로 변환하는 것은 불가능하므로 이에 대한 단계별 추진전략이 필요한데 각 단계별 적용방안을 살펴보면 다음과 같다[5].

- (1단계) 말단 154kV S/S 연결선로 → 22.9kV 초전도케이블로 교체
- (2단계) 기존 154kV S/S → 22.9kV 개폐소로 변환
- (3단계) 도심 인근 154kV S/S → 22.9kV 개폐소로 변환 확대
- (4단계) 상전도 22.9kV 케이블 → 초전도 22.9kV 케이블 대체/신설



<그림 1> 대용량 초전도 신전력계통 기본개념

본 논문에서는 상기의 1-4단계 중 초기단계인 (1단계)에 해당하는 대용량 초전도 신전력계통의 기본구성 및 기술성/경제성 검토사항에 대해서 간략히 고찰하였다.

4. 계통구성

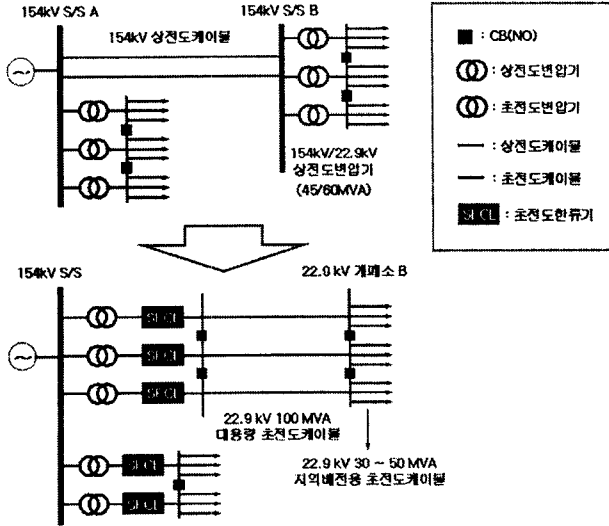
대용량 초전도 신전력계통은 154kV급 상전도계통을 22.9kV급 초전도계통으로 대체하는 개념으로서, 초기 계통구성은 조류배분문제가 없는 말단 변전소를 대상으로 하였다. 계통구성 개요 및 적용기기는 아래와 같으며, 기본구성을 <그림 2>에 도시화하였다.

- 말단 변전소 대상
 - 부하크기 : 최대 150MVA 기준
 - 국내 154kV 모선 최대부하 및 평균부하 고려
- 계통구성
 - 154kV 상전도케이블 2회선 → 22.9kV, 100MVA 초전도케이블 3회선 대체 (N-1 상정고장 고려)
 - 45MVA 상전도변압기 2대 → 100MVA 초전도변압기 1대 대체개념

- 22.9kV 모선간 분리운전
- 초전도변압기/한류기 병행적용 : 고장전류 문제 해소

○ 초전도기기 사양

- (초전도케이블)
 - 154kV 송전선로 대체용 : 22.9kV, 100MVA 3회선
 - 지역배전용 : 22.9kV, 30 ~ 50 MVA
- (초전도한류기) 22.9kV, 2.5kA
 - 한류저항 : 1 - 2 Ω
 - 적용위치 : 초전도변압기 2차측
- (초전도변압기) 154kV/22.9kV, 100MVA, 12%(%임피던스)



<그림 2> 대용량 초전도 신전력계통 계통구성

5. 기술성/경제성 고찰사항

대용량 초전도 신전력계통은 기존 154kV 상전도계통과 비교하여 기술성·경제성 측면에서 장단점이 존재한다. 본 장에서는 기술성 및 경제성 측면에서 검토해야 할 항목에 대해서 살펴보고 간략한 검토결과를 보인다.

5.1 기술성분석

대용량 초전도 신전력계통의 도입은 기술적인 측면에서는 큰 문제가 없을 것으로 판단되며, 일부 계통문제발생 소지가 있으나 현재의 기술수준으로 극복 가능할 것으로 판단된다. 기존의 154kV 상전도 전력공급방식과 비교하여 제안된 초전도계통의 기술성 항목별 고려사항 및 분석결과는 다음과 같다. 본 결과는 계통조건과 적용데이터에 따라서 결과가 다소 차이가 있을 수 있다.

- 전압강하/무효전력보상 측면
 - 중부하시 154kV 상위계통 약간 불리, 경부하시 다소 유리함
 - 중부하시 무효전력 추가보상 필요함
- 고장전류 측면
 - 대용량변압기 적용 → 고장전류 증대 → 초전도한류기 병행적용 필요
 - 초전도한류기 적용위치 및 적정 한류저항
 - 초전도변압기 1차측 적용시 고장전류 제한효과 미미함 → 매우 큰 한류저항 필요함 → 비효율적임
 - 초전도변압기 2차측 적용이 합리적, 적정 한류저항 = 1 - 2 Ω
- 보호협조 측면
 - 100MVA 초전도케이블 보호방식
 - 기존 배전선로 보호방식(과전류계전방식) 대체방안 필요함
 - 송전선로 보호방식 적용 필요함
 - (예) PCM 전류차동방식, 방향거리계전방식 등
 - 자동재폐로 동작과 초전도한류기 복귀시간 상승 → 자동재폐로 동작을 고려한 배전선로용 초전도한류시스템 적용 필요함
- 대용량 배전기자재 개발 문제
 - 기 개발된 3kA GIS (4안)에 적용 가능함
 - 일부 기자재는 추가개발이 필요하며, 국내기술로 개발 가능함
 - 단, 업체입장에서는 안정적인 수요처 발굴과 개발시간 필요함
- 초전도기기 시험관련
 - 초전도기기의 고유특성 반영 → 일부 시험항목 변경·추가 필요함

(예) 초전도단락전류 통전시험, 돌입전류 시험 등

5.2 경제성분석

본 연구에서는 기존의 154kV 상전도계통과 제안된 초전도계통에 대해서 상전도/초전도 전력기기가격 및 송변전 건설비용을 종합적으로 고려하여 경제성분석을 수행하였다. NPV(Net Present Value) 방법을 이용하였으며, 아래와 같이 LCC(Life-Cycle Cost) 비용을 산정하여 상호비교하였다.

- 총 LCC 비용 = (초기투자비) + (연간운전유지비용) x (수명연수)
 - 연간운전유지비용 = (냉각기포함) 연간전력손실 + 초기투자비*유지보수비율
 - 수명기간 30년, 할인율 8%, 유지보수비율 4%

여기서 적용된 데이터 중, 초전도기기 관련 데이터는 초전도기기가 보편화 되는 시점에서 기기개발자가 예상하여 제공한 데이터를 적용하였으며, 기타 상전도기기 및 계통관련 데이터는 한전 및 중전기기 제작업체의 통계자료에 근거하였다. 기본분석결과를 요약하면 다음과 같다.

- 기존 계통 방식에 대한 초전도(신)전력계통의 경제적 우위 확보 가능
- 초기 건설비 및 운전유지비 모두 (신)전력계통이 유리
- 신 배전계통의 경제성은 냉각설비의 가격 및 소요전력에 따라 큰 영향을 받음 → 신전력계통의 경제성 확보여부는 기기가격은 물론 냉각장치의 가격 및 효율향상이 주요 요인으로 판단됨.

6. 결 론

본 논문에서는 초전도기기의 저압대용량 및 저손실의 특성을 최대한 활용한 대용량 초전도 신전력계통의 기본개념을 제안하였으며, 기술성 및 경제성 측면에서의 고찰사항을 검토하였다. 잠정결론을 요약하면 다음과 같다.

- 대용량 초전도 신전력계통은 대도시의 154kV 지중선로를 22.9kV 대용량 초전도케이블로 대체하고, 초전도변압기 및 초전도한류기를 병행 적용하는 것을 기본개념으로 한다. 나아가서, 도시의 154kV 변전소를 22.9kV 개폐소로 전환한다는 특성을 갖는다.
- 기술성 측면에서는 일부 계통문제가 발생할 소지가 있으나, 기술적 대안으로 충분히 극복 가능할 것으로 판단된다.
- 경제성 측면에서는 기존 154kV 상전도계통과 비교할 때, 경제적 우위 확보가 가능할 것으로 예상되며, 특히 냉각설비의 가격 및 효율향상에 크게 좌우될 것으로 사료된다.
- 초전도기기의 친환경적 특성으로 인하여 대도시의 환경/민원문제 해소 등 환경적·사회적 이득이 막대할 것으로 예상된다.
- 본 논문은 대용량 초전도 신전력계통의 개념설계에 관한 기본연구로서, 향후, 기술성·경제성·사회성 측면에서 보다 심도 깊은 연구를 지속적으로 수행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대초전도용용 기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

[참고 문헌]

- [1] 산업자원부, 한국전력거래소, “제2차 전력수급기본계획(2004년~2012년)”, 2004. 12
- [2] 이승렬, 김종율, 윤재영, 최홍관, “국내 실계통에서의 154kV 초전도한류기 계통적용 가능성 검토”, 전기학회논문지, 53A권 12호, pp661-669, 2004. 12.
- [3] 이승렬, 김종율, 이승렬, “국내 실계통에서의 초전도케이블 적용가능성 검토”, 전기학회논문지, 54A권 1호, pp8-17, 2005. 1
- [4] 윤재영, 이승렬, 김종율, 김효용, “저항형 초전도한류기의 미래 배전계통 적용방안”, 전기학회논문지, 54A권 5호, 2005. 5.
- [5] Jae-young Yoon, Jong-yul, Kim Seung-ryul Lee, “Application Methodology of 22.9kV HTS Cable in Metropolitan city of South Korea”, IEEE 2004 General meeting, 2004. 6