

22kV급 초전도 케이블의 계통도입을 위한 구체적 적용대상 검토

김종울, 윤재영, 최흥관
한국전기연구원

Power System Applications for 22kV Class Superconducting Cables in Korea

Jong Yul Kim, Jae Young Yoon, Heung Kwan Choi
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - As power demand increases gradually, the call for underground transmission system increases. But it is very difficult and high in cost to construct new ducts and/or tunnels for power cables in metropolitan areas. HTS (High Temperature Superconducting) cable has the several useful characteristics such as increased power density.

Therefore HTS cable can allow more power to be moved in existing ducts, which means very large economical and environmental benefits. In this paper, we carried out investigation for Application of 22kV class HTS cable in Korean utility networks. The results show that the HTS cable is applicable to replace IPB in pumping-up power plant, withdrawal line in distributed generation, withdrawal line in complex power plant, and conventional under ground cable. Finally, as the cost of HTS wire and refrigeration drops, the technical and economical potential of HTS cable is evaluated positively.

1. 서 론

전선으로 케이블을 사용하고 관로식, 전력구식 또는 직접매설식에 의하여 시설한 송전선로를 지중송전선라고 지칭하며 현재 저손실 OF 케이블, 대도체 CV 케이블등이 많이 사용되고 있다. 그러나 대도시의 경우 빌딩의 집중, 도시기능의 고도화에 의해 전력 부하 밀도가 높아짐에 따라 지중케이블의 대용량화가 불가피하게 되었고 이에 대한 해결방안으로 복수회선 포설을 이용하고 있으나 과밀화된 도심부에서 부지를 확보하는 데에 어려운 문제가 있고, 한 회선당의 송전용량 증대를 도모하려 하여도 지중 케이블의 송전용량이 절연체의 최고 허용온도에 의해 제약을 받기 때문에 이 역시 좋은 해답이라 할 수 없다. 이러한 상황에서 미래의 이상적인 송전방식으로는 송전에너지의 손실이 현저하게 적고 송전에너지 밀도가 비약적으로 큰 초전도케이블의 계통 적용이 적극 검토되고 있으며 현재 우리나라에서도 연구소와 대학을 중심으로 많은 연구가 진행되고 있다.[1]-[2]

초전도 케이블은 저전압·대용량 송전이 가능하기 때문에 송전손실을 줄일 수 있는 것은 물론 도심에 위치한 중간변전소(154kV)를 생략할 수 있고 동시에 동일 크기로 대용량송전이 가능하므로 회선수를 줄일 수 있어 송전관로(지하전력구, 동도) 건설비를 대폭적으로 경감시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 초전도 케이블을 상전도 케이블을 대신하여 계통에 적용하게 되면 전력 조류의 재분배가 발생하게 되는데 이로 인해 부하 밀도가 높은 계통의 부담을 감소시켜 주는 역할을 하여 결국 전력계통의 신뢰도가 증대되는 효과도 얻을 수 있다.[3]

따라서, 본 논문에서는 현재 개발중인 22kV급 초전도 케이블의 전력회사 계통에의 도입을 위한 구체적 적용대안을 고찰하여 그 적용 가능성을 검토하였다.

2. 22kV급 초전도 케이블 계통 적용방안

초전도 케이블 적용대안은 검토하는 관점에 따라서 다양한 분류가 가능하지만 본 논문에서는 크게 수용가(Customer) 및 전력회사(Utility) 계통으로 구분하였다.

수용가계통에의 적용대안은 초전도 케이블을 적용할 수밖에 없는 불가피한 이유를 가진 구체적인 대상(Specific Objects)을 탐색해야 하며, 이는 기본적으로 Niche Marketing 적인 성격을 지니고 있다. 이에 반해 전력회사계통(Network)에의 적용대안은 수용가계통과는 달리 특정 대상보다는 전력계통 전반에 초전도 케이블이 적용될 수 있는 일반적인 유형을 도출하는 성격을 가지고 있다.

본 논문에서는 이들 두 가지 적용 계통 중에서 특정 대상에 국한되는 수용가 계통보다는 전력계통 전체에 적용이 가능한 전력회사 계통에의 초전도 케이블 적용 대안 고찰에 중점을 두었으며 또한 각각의 적용 대안별 구체적 적용개소들에 대하여도 살펴보았다. 전력회사계통에 대한 적용대안을 세분하여 정리하면 아래 표 1과 같으며 각 개별 대안에 대하여는 다음 절에서 상세히 기술하였다.

표 1 전력회사계통에의 22kV급 초전도 케이블 적용대안

적용대안	적용사유
신설 발전소 IPB	저전압, 대용량
해안가 분산전원 인출선로	저전압, 대용량
서울인근복합화력 발전소 인출선로	저전압, 대용량
기존 22.9kV 선로의 22kV급 초전도 케이블 대체	- 수명종료로 인한 노후 케이블 교체 - 용량증대를 위한 대체, 부하증가 및 입지난으로 기존 케이블 증설 곤란 - 용량증대를 위하여 케이블 신설 필요 (신설케이블 회선수 감소를 위해 초전도 케이블 적용)
기존 154kV 선로의 22.9kV 초전도 케이블 대체	- 도심 154kV S/S 원격화 - 노후 154kV 케이블 교체시 22.9kV 초전도 케이블 적용 - 신설예정 154kV 선로를 22.9kV로 대체 (신설 도심 154kV S/S 생략 가능 개소)

2.1 22kV급 초전도 케이블의 전력회사 계통 적용대안별 검토

1) 신설발전소 IPB

발전소에서 발전기(18~23kV)와 송압변압기(154~

765kV) 사이를 연결하는 선로는 저전압(18~23kV)에 대용량(100~1,000MW)이므로 전류용량이 10kA 이상으로서 굉장하다. 따라서, 기존의 ACSR 전선이나 케이블 굵기로는 곤란하기 때문에 기존 발전소에서는 대용량의 전선 굵기를 가지는 IPB(Insulated Phase Bus)를 적용하고 있다. IPB 길이는 대략 수십 m 정도에 불과하지만 가격은 20~30억원의 고가이다. 수력 혹은 양수 발전소의 경우, 전형적으로 발전기는 지하에 있고 승압변압기는 지상에 있으므로 양자를 연결하기 위해서는 IPB 도체를 수용할 수 있는 터널을 건설해야 하는 문제가 있다. 기존 양수 발전소에서는 이와 같이 지하터널을 통하여 IPB 도체를 연결하여 사용하고 있다. 기존 발전소의 IPB 도체를 초전도 케이블로 대체하는 것은 아래와 같은 이유 때문에 현실적으로 어려움이 있다고 판단된다.

○ 전력기술의 보수성 및 기존 IPB 사용에 따른 별다른 문제점 없음.

○ 초전도 케이블에 따른 발전소의 공급 신뢰도 영향 문제 (초전도 케이블 및 냉각설비의 신뢰성 및 고장률에 미치는 영향)

○ 발전소 투자비용(1조 단위)에 대비한 IPB 가격(20~30억원)의 미미함. 그러나, 향후 증설 예정인 발전소에의 초전도 케이블 적용은 고려할 수 있는 여지가 있다고 보이며, 이를 위해서는 다음과 같은 조건이 충족되어야 한다.

○ IPB 도체에 대비한 초전도 케이블 및 냉각설비의 경제성이 확보되어야 하며, 냉각설비 운용에 따른 입지, 터널 크기 및 제반 기술적 문제점이 없어야 한다.

○ 초전도 케이블과 냉각설비 적용에 따른 고장률이 기존 IPB 도체 보다 낮다는 기술적 신뢰성이 보장되어야 한다. 이는 발전기 연결 선로로 인한 발전소의 공급 신뢰도가 현재 수준이상 유지되어야 함을 뜻한다.

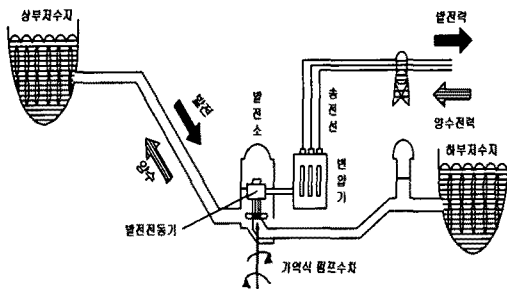


그림 1 양수 발전소 적용 IPB 개념도

2) 해안가 분산전원 인출선로

해안가 분산전원 단지는 수백 V, MW 급의 풍력 혹은 조력 발전기가 많이 해안에 산재해 있고 이를 해변가의 특정 지점에 있는 Collector System에 집결하도록 되어 있다. 이 경우 개별 발전기에서 Collector System으로 연결하는 개별 선로는 용량이 그다지 크지 않으므로 기존 케이블을 사용하고 있다. 그러나, Collector System에서 VSC 변환소(혹은 AC 변환소)로 연결하는 선로는 수백 V의 전압, 수십 MW 이상의 대용량 이므로 다수 조의 기존 케이블이 필요한데, 이를 초전도 케이블로 대체하면 1조 만이 소요된다. 이러한 분산전원 단지에의 초전도 케이블과 VSC 변환방식의 적용은 덴마크 와 같이 분산전원이 활발하게 적용되고 있는 국가에서 향후 장기

적인 계획으로 수립되어 있는 사항이다. 덴마크는 2020년 전체 전력수요의 20%를 이러한 분산전원에 의해 공급할 계획을 가지고 있으며, 이에 따라 초전도 케이블의 적용도 활발해 질 것으로 예상된다.

국내의 경우도 2020년 전력공급 수요의 5%를 분산전원으로 공급할 목표를 가지고 있으므로 이러한 방식의 초전도 케이블 적용 가능성의 검토 필요성이 있다. 그러나, 현재 시행되고 있는 대관령 100MW 풍력단지는 AC 154kV 송전망에 직접 연결하고 있으며, 덴마크와 달리 해안가 분산전원이 한정적이므로 덴마크와 동일한 기준으로 판단할 수는 없는 측면도 있다. 만약 제주도 혹은 기타 지역에서 해안가의 풍력단지를 향후 개발한다면 검토의 여지가 있다고 판단된다.

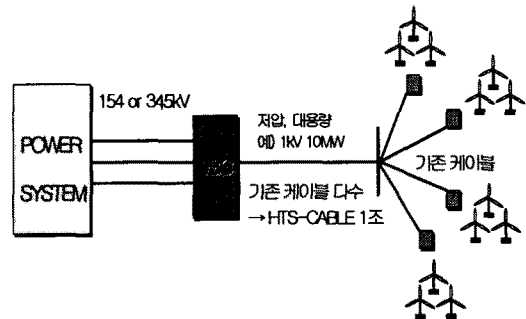


그림 2 분산전원 단지 초전도케이블 적용

3) 서울 인근 복합화력 발전소 인출선로

복합화력 발전소의 단자전압은 약 18-22kV 정도이다. 이 단자전압은 승압 변압기를 거쳐 154kV로 승압되어 송전계통에 연결된다. 따라서 복합화력 발전소에서 154kV 모선을 연결하는 기존 154kV 선로를 22kV급 초전도 선로로 대체할 경우 승압 변압기를 생략할 수 있고 전압 compact화가 가능하다.

현재 수도권 부근에는 일산, 부천, 안양, 분당 등에 이러한 복합화력 발전소가 다수 설치되어 있어 서울을 비롯한 수도권 지역 전력공급의 일부를 담당하고 있다. 우리나라 지역별 부하가 수도권 지역에 매우 집중되어 있고 향후로도 이러한 특성이 지속될 것으로 예상되므로 수도권 부근의 복합화력 발전소는 앞으로도 계속 신규 건설될 예정이다. 따라서 이러한 복합화력 발전소와 154kV S/S를 잇는 선로의 22kV급 초전도 케이블 대체는 적용가능성이 상당히 높다고 할 수 있다.

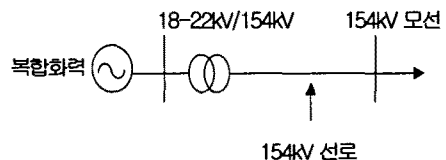


그림 3 복합화력 발전소 계통구성

4) 기존 22.9kV 및 154kV 선로의 22kV급 초전도 케이블 대체

앞의 대안들은 국부적인 계통에 적용 가능한 약간은 Niche Marketing적인 성격을 가지고 있다. 이에 반해 아래에서 소개될 기존 22.9kV 및 154kV 선로의 22kV급 초전도 케이블 적용은 구체적인 개소보다는 전체 계통에 적용가능한 일반적인 유형을 소개하는 것으로서 적용대안에 대한 개요 및 구체적 적용 가능 대상에 대하여 기

술하였다.

■ 기존 22.9kV 선로 대체 경우

① 노후 케이블 대체

과거 국내 배전계통은 22kV 비접지 방식으로 적용되다가 1970년대 중반 국내 배전계통이 22.9kV 다중접지 표준방식으로 변경되어 현재에 이르고 있다. 우리나라 지중배전케이블은 총 길이는 17,231C-Km에 이르며, 이 중에서 80년대 건설되어진 케이블의 규모는 약 3,654C-Km이다. 만약 케이블의 수명을 대략 30년 정도로 추정한다면 2010년 이후부터 본격적으로 배전 케이블의 교체수요가 도래할 것으로 추정되며, 이점에서 케이블의 교체시 공급부하의 증대와 회선수 감소를 위하여 초전도 케이블의 적용 필요성이 있을 것으로 예상된다.

② 부하 증가시 기존케이블 대체 혹은 증설 경우

부하증가로 인한 회선수 증설이 필요지만 입지난으로 관로를 증설할 수 없거나 혹은 관로증설이 가능하더라도 막대한 공사비의 가중된 부담이 문제가 되는 경우 기존 케이블을 초전도 케이블로 대체하거나 증설 케이블을 초전도 케이블로 포설할 수 있다. 앞서 설명한 바와 같이 동일한 크기를 가지는 기존 케이블과 초전도 케이블의 송전용량을 비교했을 때 초전도 케이블이 기존 케이블에 비해 크다. 따라서 기존 케이블의 증설 없이 기존 관로를 이용하여 초전도 케이블로 교체한다면 향후 부하 증가에 따른 여유 송전용량 확보 측면과 건설비 측면에서 매우 큰 이익을 얻을 수 있다. 이러한 기존 케이블 대체 혹은 증설과 앞에서 기술한 노후 케이블 대체 등의 구체적인 대상은 별도의 Niche Marketing을 통하여 상세 검토하여야 할 사항으로 판단된다.

■ 기존 154kV 선로 대체 경우

① 도심 154kV S/S 원격화 및 장거리 22.9kV 초전도 케이블 적용

기존 도심내 154kV S/S를 22.9kV 개폐소 역할만 하도록 하고 그 대신 원격지에 있는 154kV S/S에서 장거리 22.9kV 선로를 통하여 전력을 공급한다.

② 노후 154kV 선로 22kV급 초전도 케이블로 대체

앞에서 기술한 22.9kV 노후 케이블 대체와 동일한 개념으로서 기존 154kV 케이블 노후로 인하여 교체할 때 22kV급 초전도 케이블로 대체하는 방안이다. 154kV 지중선로의 현황 및 준공년도를 살펴보면 우리나라 지중선로는 대체로 1970년대 서울지역에 대부분 설치되어있고 그 후 80-90년대를 거치는 동안 서울 및 기타 대도시에 적용 되었으며 선종은 OF 케이블이 규격은 600 mm²과 1200 mm²이 주종을 이루고 있다. 이중 1990년 이전에 설치된 케이블 선로는 전체 418회선 중 약 22%를 차지하는 94회선이며 이들 선로길이는 총 326Km에 이르고 있다. 케이블 선로의 이론적 수명은 대체로 40-50년 정도이지만, 실제 수명은 그보다 낮은 다소 적을 것으로 생각되므로 154kV급 초전도 케이블이 상용화되는 2010년에는 1990년대 이전에 설치된 이들 선로의 교체 검토가 필요할 것으로 보인다.

③ 신설예정 154kV 선로를 22kV급 초전도 케이블로 대체

부하증가에 따라 도심내부 가까이 새로 건설예정인 154kV S/S를 건설하지 않는 대신에 22.9kV 개폐소를 건설하고, 기존 도심 154kV S/S에서 154kV 대신 22kV급 초전도 선로를 이용하여 전력을 공급한다. 이 경우 22.9kV 개폐소 건설시 필요한 부지 및 변전설비 비용이 154kV S/S 건설에 드는 비용보다 훨씬 적으므로 큰 비

용 저감효과를 얻을 수 있다.

2010년경 신설될 지중선로는 수도권을 중심으로 한 기타 대도시에 1회선 또는 2회선 선로가 건설될 예정이며 그 규모는 총 74회선, 선로길이 180Km에 이르고 있다. 선종은 현재 주류를 이루고 있는 XLPE 케이블이 사용될 전망이다. 부하 증가에 따른 회선당 송전용량 증가에 따라 1200 mm² 보다는 2000 mm² 케이블의 사용이 많음을 알 수 있다.

3. 결 론

22kV급 초전도 케이블 적용대안은 여러 가지 관점에서 접근할 수 있지만 본 논문에서는 크게 자가용 수용가 계통과 전력회사 계통으로 나누었으며 특정개소에 대한 적용 가능성을 검색하는 자가용 수용가 계통보다는 전체 계통에 대한 일반적인 적용방안을 도출할 수 있는 전력회사 계통을 중심으로 고찰하였다. 향후 초전도 관련 기술발달로 초전도기기 및 냉각설비의 가격 및 부피가 급격히 하락할 것을 예상해 볼 때 신설발전소 IPB 대체, 해안가 분산전원 인출선로, 복합화력 발전소 인출선로에 적용 및 기존 22.9kV 또는 154kV 선로 대체를 위한 22kV급 초전도 케이블의 적용 가능성이 매우 높을 것으로 생각된다. 또한 향후 초전도 케이블 적용에 따른 토목 공사비와 입지비용 및 송변전 설비 절감비용, 환경비용 등 종합적인 Life-Cycle 비용측면과 전체 전력공급 비용측면을 고려해 볼 때 상당한 경제적 이익을 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

따라서, 초전도 케이블의 계통 도입은 향후 미래사회의 전기품질 및 환경측면에 대한 요구에 부응하고 고도화된 IT사회에 적합한 고밀도 부하공급 방식으로의 전환을 위해서 매우 효과적인 해결방안의 하나라고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대 초전도용융기술훈발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Diego Politano, Marten Sjostrom, Gilbert Schnyder and Jakob Rhyner, "Technical and economical Assessment of HTS Cablesems" IEEE Transactions on applied superconductivity conference, Sept. 2000
- [2] John Cerulli, "State of the Art of HTS Technology for Large Power Applications: Current Programs and Future Expectations" Proceedings of the Power Engineering Society Winter Meeting, Dec. 1998
- [3] R. S. Silbergliitt, Emile Eteddgui, Anders Hove, "Strengthening the Grid : Effect of High Temperature Superconducting(HTS) Power Technologies on Reliability, Power Transfer Capacity, and Energy Use" Rand Corp., July 2002
- [4] 산업자원부, "제5차 장기 전력수급 계획", 2000. 1
- [5] 한국전력공사 계통계획처, "2000년 장기 송변전 설비 계획", 2001. 3
- [6] 한국전력공사, "한전 지중선로 현황", 2001. 6 on radial distribution system", IEEE Trans on Power Delivery, Vol. 4, No.1, January 1989, pp.725-734