2003년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2003.7.21-23

22kV급 초전도 케이블을 이용한 미래 전력계통 구성 방안 고찰

김종율, 윤재영, 최흥관
한국전기연구원

A Prospect of the Future Power System Configuration with 22kV Class Superconducting Cable

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 investigate the status of korean power system and underground transmission system. Based on this, the feasibility study on applying 22kV class HTS cable to korean power system is carried out and then we propose the new power system configuration of metropolitan area with 22kV class HTS cable.

1. 서 론

우리나라 전력수요는 최근 경제발전과 더불어 꾸준히 성장하였으며 이러한 증가추세는 향후 2015년까지 매년 4-5%의 증가율을 보이며 계속 지속될 전망이다. 따라서 2020년의 전력수요는 425,600GWH로 현재의 1.7배 이상 증가할 것으로 판단된다. 한편 우리나라를 비롯한 해외 여러 국가에서 환경문제에 대한 관심이 점점 증가함에 따라 도심내 송전선로 경과지 확보 문제, 과도한 보상경비 등으로 인하여 가공 송전선 보다는 지하 송전선이 주류를 이루고 있으며 이러한 선로 지중화 추이는 향후 계속 증가할 전망이다. 그러나 대도심의 경우 빌딩의 집중, 도시기능의 고도화에 의해 전력 부하 밀도가 높아짐에 따라 지중선로의 대용량화가 불가피하게 되었고 이에 대한 해결방안으로 복수회선 포설을 이용하고 있으나 과밀화된 도심부에서 부지를 확보하는 데에 어려운 문제가 있고, 한 회선당의 송전용량 증대를 도모할려고 하여도 지중선로의 송전용량이 절연체의 최고 허용온도에 의해 제약을 받기 때문에 이 역시 좋은 해답이라 할 수 없다. 이러한 상황에서 미래의 이상적인 송전방식으로서는 송전에너지의 손실이 현저하게 적고 송전에너지밀도가 비약적으로 큰 초전도케이블의 계통 적용이 적극 검토되고 있다.([1]-[2])

초전도케이블은 저전압·대용량 송전이 가능하기 때문에 송전손실을 줄일 수 있는 것은 물론 도심에 위치한 중간변전소를 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 초전도 케이블은 저항이 거의 제로에 가까우므로 초전도 케이블을 통해 흘러가는 전력 조류가 증가하게 된다. 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 계통 적용을 위해 현재 전력계통 현황 및 운영상의 제약을 고찰하고 이를 통하여 기본적인 초전도 케이블 적용 계통구성 방안 및 계통구성 추진전략을 제시하였다.

2. 전력계통 현황 및 전망

2.1 장기 전력수급 전망

국내의 향후 2000년, 2005년, 2010년 전력수급 현황을 살펴보면 표 1과 같다. 국민 생활수준 향상과 경제 성장으로 인해 전력수요는 2000년부터 2010년까지 매년 평균 4-5% 정도 증가하여 2010년에는 약 6만 MW정도로서 2000년 최대수요 4만 MW 대비 약 150%의 성장을 나타낼 전망이다. 따라서 이러한 전력수요에 원활히 대응하고 높은 공급신뢰도를 유지하기 위해서는 발전설비의 확충뿐만 아니라 송배전설비 및 변전설비의 적절한 신증설 또한 매우 중요한 문제라고 할 수 있다.[4]

표 2에서는 지역별 동시 최대 수요 추이를 나타내고 있는데 수도권, 영남, 영동권의 경우 정체 또는 약간의 감소 추세를 나타내는 반면 충부 및 호남권의 경우 서해안 개발 등으로 인해 그 수요가 점점 증가하고 있다. 서울, 경기 지역인 수도권이 전체 대비 약 40% 이상을 차지하고 있어 부하밀도가 매우 높은 지역임을 알 수 있다. 이는 수도권 지역이 고도 부하 밀집지역으로서 도심내 전력공급을 위하여 향후에도 지중 케이블의 사용이 지속적으로 증대할 것임을 의미한다.

표 1 전력수급 현황 및 전망

년도	2000년	2005년	2010년
최대수요[MW]	41,010	52,624	60,975
발전설비용량[MW]	48,451	60,394	71,413
설비예비율 (%)	15.4	14.7	17.1

표 2 지역별 최대수요 추이 (단위 : MW)

년도	수도권	영동권	충부권	호남권	영남권	계
2000년	18,760	2,634	4,176	2,881	12,556	41,007
2005년	22,489	3,716	6,449	4,048	15,922	52,624
2010년	25,920	4,077	7,989	4,813	18,176	60,975

2.2 송전선로 현황 및 전망

우리나라 송전 계통의 전압 계급은 크게 765kV, 345kV, 154kV로 구분되어 있으며 우리나라 송전선로의 전압 계급별 선로긍장 및 구성 비율 추이를 살펴보면 송전선로 총 긍장은 전력수요 증가에 따라 2000년

24,623km에서 2010년에는 32,590km로 약 1.4배 정도 증가할 것으로 예상된다. 또한 전압 계급별 구성에 있어서도 현재는 154kV와 345kV가 송전계통의 주종을 이루고 있지만 향후에는 765kV 선로 점유율이 다소 증가할 것으로 예상된다.[5]

단위수요당 선로긍장의 경우 현재 약 0.6 C-Km/MW에서 향후 2010년에는 0.53 C-Km/MW로 감소하는데, 이는 향후 수요증가에 비해 전력송전을 위한 송전선로의 확충이 다소 충분치 못함을 나타내고 있다.

송전선로 지중화 추이를 살펴보면 표 3과 같이 전체 지중선로의 90%이상을 차지하는 154kV 전압계급의 지중화율이 현재 약 7% 수준으로 그리 높지 않은 상황이다. 그러나 가공 송전선로의 경과지 확보가 점점 더 어려워지고 환경에 대한 관심이 증대되어 향후 2010년경에는 154kV 지중화 선로의 점유율이 12%정도로 증가할 것으로 예상된다.[5]

표 3 154kV 송전선로중 지중선로 긍장 및 점유율

구 분	2000년	2005년	2010년
총 송전선로 긍장 (누계C-Km)	16,747	20,475	22,453
지중선로 긍장 (누계C-Km)	1,143	2,207	2,599
점유율(%)	6.8	10.8	11.6

배전 지중선로의 경우 현재 국내 22kV급 배전계통에 적용되는 케이블은 CNCV 325[mm2], 10MW 용량으로서 1973년 서울시 효자동~광화문간 선로가 최초의 선로 서울 도심지역에 설치되어 80년대 이후 급격하게 증가하고 있다. 이러한 배전 케이블 역시 부하 증가에 따라서 지속적으로 증가할 것으로 예상되며, 특히 2010년 이후에는 80년 이전에 포설된 노후 케이블의 대체 수요도 발생할 것으로 예견되고 있다.

3. 국내 22kV급 초전도 케이블 적용방안

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

수용가계통에의 적용대안은 초전도 케이블을 적용할 수 밖에 없는 불가피한 이유를 가진 구체적인 대상(Specific Objects)을 탐색해야 하며, 이는 기본적으로 Niche Marketing 적인 성격을 지니고 있으며 전력회사계통(Network)에의 적용대안은 수용가계통과는 달리 특정 대상보다는 미래 전력계통에서 초전도 케이블이 적용될 수 있는 기본여건을 도출하는 작업이다. 이는 초전도 케이블의 효용성을 활용하여 현재의 계통 여건을 경제적, 환경적인 측면에서 보다 긍정적인 방향으로 개선시킬 수 있는 일반적인 대안을 모색하는 것이다.

본 논문에서는 두 가지 적용 계통 중에서 특정 대상보다는 미래 전력계통 전체에 적용이 가능한 전력회사 계통에의 초전도 케이블 적용 방안을 고찰하였고 그중 에서도 기존 22.9kV 및 154kV 선로의 22kV급 초전도 케이블 대체적용을 위한 계통구성 방안 및 단계별 추진전략을 제시하였고 아울러 몇 가지 기술적 고려사항에 대하여도 간략히 기술하였다.

3.1 22kV급 초전도 케이블 적용 계통구성 방안

그림 1에서는 기존 설치된 154kV 및 22.9kV 상전도 케이블의 노후, 도심내부 154kV S/S 원격화, 신설 154kV 및 22.9kV 선로 대체를 위해 22kV급 초전도 케이블을 적용한 경우의 계통 구성을 간략히 나타내고 있다. 위에서 언급한 세 가지 경우 모두 22kV급 초전도 케이블 적용으로 인해 궁극적으로 도심내부의 154kV S/S는 22.9kV 개폐소로 변환하고 외곽의 154kV S/S로 부터 초전도 케이블을 통하여 전력을 공급하도록 하는 계통구성 방식이다. 이 경우 22.9kV 개폐소는 M.Tr 뿐만 아니라 기타 154kV 변전설비들이 필요 없게 되어 설비 비용이 대폭 줄어들게 된다. 아울러 부지측면에서도 22.9kV 개폐소는 154kV 변전소 보다 훨씬 적은 부지만을 필요로 하므로 이로 인한 경제적 이익 또한 얻을 수 있게 된다. 이러한 154kV 케이블을 22kV급 초전도 케이블로 대체하는 경우 기존 관로나 전력구 등 지중선로 입지공간을 활용할 수 있기 때문에 이로 인한 막대한 이익이 발생할 것으로 생각된다.

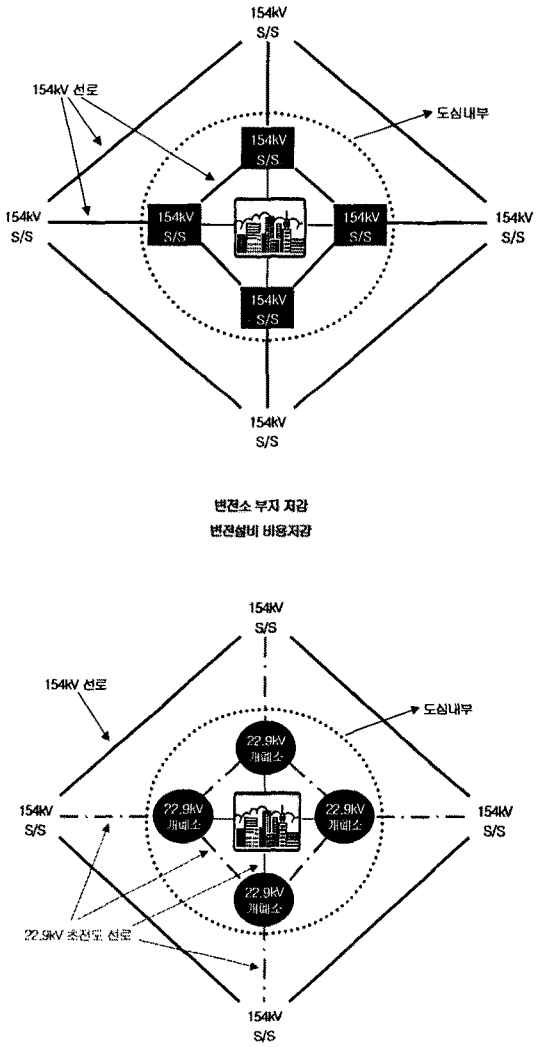

그림 1 22kV급 초전도 케이블 적용 전·후의 계통구성

3.2 22kV급 초전도 케이블 적용 계통구성 추진전략

위에서 살펴본 바와 같이 상전도 케이블 선로를 22kV급 초전도 케이블 선로로 대체함으로 인하여 궁극적으로 도심내부의 154kV S/S는 22.9kV 개폐소로 변환되는 것으로 상정하였다. 그러나 현실적으로 도심내부의 모든

154kV 변전소를 일시에 22.9kV 개폐소로 변환하는 것은 불가능하므로 이에 대한 단계별 추진전략이 필요한데 각 단계별 적용방안을 살펴보면 다음과 같다.

(1단계) 154kV S/S 양단간 선로만 교체

노후케이블 교체, 부하증가로 인한 신규선로 건설시 기존 154kV S/S는 그대로 두고 양 변전소를 잇는 선로를 22.9kV 모선을 활용하여 154kV 선로를 22.9kV 선로로 대체한다. 즉, 154kV 1회선을 22.9kV 1회선으로 일대일로 교체하는 개념이다. 이러한 경우 초전도 케이블의 용량은 기존 154kV 케이블 용량과 거의 비슷한 200MVA 내외로 하는 것이 합리적이지만, 기존 관로의 유효활용 측면에서 가장 최적인 초전도 케이블 용량을 별도로 선정하는 작업이 필요하다. 또한 도심내 기존 22.9kV 케이블을 22kV급 초전도 케이블로 교체하는 것은 154kV 선로 대체와 무관하게 별도로 진행되는 것으로 가정한다.

(2단계) 기존 154kV S/S에서 22.9kV 개폐소로 변환

도심 154kV 변전소를 22.9kV 개폐소로 변환한다. 아울러 인근 154kV S/S와의 선로 역시 22kV급 초전도 케이블로 대체한다. 이 경우 도심 154kV 변전소의 compact화가 가능하여 부지 및 변전설비 비용의 막대한 감소로 인한 이익을 얻을 수 있다. 그러나 이 단계에서는 경우에 따라 인근 154kV S/S와의 연계를 고려하여 일부 변전소는 154kV 변전설비를 기존과 같이 갖추고 있어야 할 필요성도 존재한다.

(3단계) 도심내 인근 154kV S/S를 22.9kV 개폐소로 변환

도심내 인근 154kV 변전소를 22.9kV 개폐소로 변환한다. 아울러 기존 도시 외곽 154kV S/S와 연결된 선로 역시 22kV급 초전도 케이블로 대체한다. 이 경우도 앞서와 같이 부지 및 변전설비 비용의 막대한 감소로 인한 이익을 얻을 수 있다.

(4단계) 도심내부 전력공급을 위한 기존 22.9kV 선로를 22kV급 초전도 케이블로 교체

앞서 도심내 기존 22.9kV 케이블을 22kV급 초전도 케이블로 교체하는 것은 154kV 선로 대체와 무관하게 별도로 진행되어 간다고 가정하였다. 따라서, 현재까지 교체되지 않은 기존 22.9kV 지중 케이블을 초전도 케이블로 점진적으로 교체하거나 신설하는 선로를 초전도 케이블로 포설한다. 이 경우 향후에 도심내 부하 급증으로 인한 기존 선로의 증설 및 신규 선로건설이 필요할 때 부지확보 곤란 및 막대한 토목공사 비용이 발생하게 된다. 그러나 초전도 케이블을 사용할 경우 기존 케이블에 비해 동일 크기로써 훨씬 큰 전력을 전송할 수 있으므로 이러한 공사가 불필요하게 되어 비용저감 효과를 얻을 수 있다. 이와 같이 22.9kV 케이블을 대체하는 초전도 케이블의 용량은 잠정적으로 50MVA 내외로 선정할 수 있다. 이는 향후 2020년경의 도심지 부하밀도가 현재보다 2~2.5배정도 증가한다고 보고 배전선로 1개 피더가 관할하는 면적을 현재보다 2배 정도로 상정했을 때 기존 지중 케이블 10MVA 보다 5배 정도 용량이 소요될 것으로 판단되기 때문이다.

4. 결 론

본 논문에서는 22kV급 초전도 케이블의 계통적용을 위한 기본검토 차원에서 초전도 케이블을 이용한 미래 전력계통의 구성방안 및 그 추진전략에 대하여 살펴보았다.

본 논문에서 검토한 결과를 간략히 요약하면 기존 22.9kV 및 154kV급 송전선로의 22kV급 초전도 케이블 대체로 인하여 궁극적으로 도심내부의 154kV S/S는 22.9kV 개폐소로 변환하고 외곽의 154kV S/S로 부터 초전도 케이블을 통하여 전력을 공급하도록 계통구성이 변경된다. 이 경우 22.9kV 개폐소는 M.Tr 뿐만 아니라 기타 154kV 변전설비들이 필요 없게 되어 설비 비용이 대폭 줄어들게 된다. 아울러 부지측면에서도 22.9kV 개폐소는 154kV 변전소 보다 훨씬 적은 부지만을 필요로 하므로 이로 인한 경제적 이익 또한 얻을 수 있게 된다. 이러한 154kV 케이블을 22kV급 초전도 케이블로 대체하는 경우 기존 관로나 전력구 등 지중선로 입지공간을 활용할 수 있기 때문에 이로 인한 막대한 이익이 발생할 것으로 생각된다.

또한 이러한 계통구성 방안을 실현시키기기 위해서는 향후 개발될 22kV급 초전도 케이블의 개발방향은 다음과 같이 두 가지 경우로 나누어 생각하여야 할 것으로 판단된다.

○기존 22.9kV 선로를 초전도 케이블로 대체할 경우 초전도 케이블의 송전용량은 50MW 정도가 적당할 것으로 생각되며 기존 노후 설비 교체 및 부하 증설시 적용가능하다.

○기존 154kV 선로를 초전도 케이블로 대체할 경우 초전도 케이블의 송전용량은 200MW 이상이 적당할 것으로 생각되며 기존 노후 설비 교체 및 154kV 원격화, 신규 154kV 변전소 건설시 적용가능하다. 이 경우 결국 도심내 154kV 변전소의 22.9kV 개폐소로의 변환을 궁극적 목적으로 하며 이 경우 부지 및 변전설비 비용 측면에서 큰 경제적 이익을 기대할 수 있다.

결론적으로 22kV급 초전도 케이블의 계통적용은 기존의 계통구성 체계를 미래 선진 IT사회에 적합한 고밀도 부하공급 방식으로 전환할 수 있는 대안으로 평가되며, 이는 전기품질과 환경측면이 더욱 강조되는 미래사회에서는 필수 불가결한 선택일 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대 초전도응용기술개발 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 Futrure Expectations" Proceedings of the Power Engineering Society Winter Meeting, Dec. 1998

[3] R. S. Silberglitt, Emile Ettedgui, 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