

22.9kV 초전도 케이블의 대도시 배전계통 적용방안

윤재영, 김종율, 이승렬
한국전기연구원

Methodology of 22.9kV HTS Cable application for practical distribution system in metropolitan area

Yoon, Jae-Young, Kim, Jong Yeul, Lee, Seung-Ryul
Korea Electrotechnology Research Institute

jyoon@keri.re.kr jykim@keri.re.kr srllee@keri.re.kr

Abstract - As the power demand has increased, it is expected that the transmission system will have more complicated problems under the influence of investment reduction for overall power system. The route length per MW demand will be reduced gradually from 0.6[C-km/MW] to 0.53[C-km/MW] in 2010. This comes up to a real serious problem of system planning and operation viewpoints. HTS power technologies have properties to solve these complex transmission and distribution constraints, especially for metropolitan area, in the future. As the HTS technology has developed, the HTS cable technology can be the most effective alternative to solve the future expected transmission constraints as compared with other countermeasures in terms of economics, environments and system operation. This paper describes the general application methodology of developing 22.9kV HTS cable by CAST for practical distribution system, particularly, step-by-step application methodology of 22.9kV HTS cable to substitute the existing and planning 154kV cable. In this scheme, almost of the downtown 154kV substation of metropolitan city such as Seoul will be changed into 22.9kV switching station.

keyword : HTS Cable, Distribution system, Application methodology

1. 서 론

국내 전력수요는 매년 평균 4~5% 정도 증가하여 2010년에는 최대수요가 6만MW를 초과하며, 특히 대도시내의 부하밀도는 타 분야보다 더 높은 비율로 지속적으로 증가할 것으로 예상되고 있다. 이러한 전력수요 증가에 원활히 대응함과 동시에 높은 공급신뢰도를 유지하기 위해서

는 발전설비의 확충과 더불어 송배전설비의 합리적인 신증설이 보다 더 중요한 문제로 대두되고 있다. 국내 미래 송배전망에서 예상되는 수송용량 부족과 환경문제에 적절히 대처하고 선진 IT 사회에 적합한 경제적이고 고신뢰성의 전력공급을 위한 대안의 하나로서 초전도케이블 도입 가능성이 대두되고 있다. 본 논문은 국내에서 현재 개발이 진행 중인 22kV급 초전도 케이블을 실전력계통에 적용하기 위한 기본 방안을 분석한 것이다. 22kV급 초전도 케이블을 기존 154kV 혹은 22.9kV 상전도 케이블의 대안으로 적용하는 것에 중점을 두고 검토하였다. 본 논문에서는 정성적인 분석을 통하여 22kV급 초전도 케이블의 실 계통 적용대안을 도출하고, 각 대안별로 기술적 배경과 향후 적용방향에 대하여 기술하였다.

2. 초전도케이블 도입 필요성

2.1 국내 송배전계통 전망

국내 송배전계통은 구조개편에 따른 투자 감소와 NIMBY 현상에 따른 민원문제로 인한 선로 입지난이 복합적으로 작용하여 단위수요당 선로공장이 현재 0.6 C-km/MW에서 2010년에는

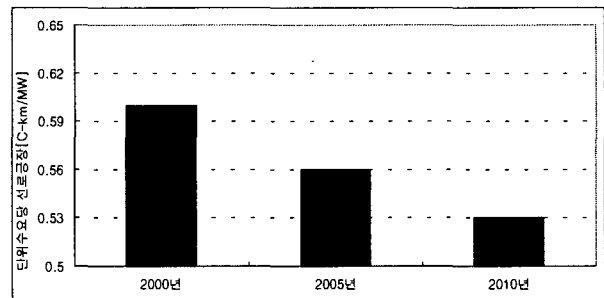


그림. 1. 연도별 단위수요당 선로공장 추이
Fig. 1. Expected route length per unit demand 0.53 C-km/MW로 감소할 것으로 예상된다. 이는 향후 수요증가에 비해 송배전선로의 확충이 충분하지 못함을 의미하며, 대용량 선로의 적용, 단위 선로당의 송배전용량이 증가되어야 하는 기본적인 배경을 나타낸다. 표-1은 송전선로

지중화 추이를 나타낸 것인데, 154kV 송전선로의 지중화율이 현재 6.8% 수준에서 가공선로의 경과지 확보난과 환경문제 때문에 향후 2010년 경에는 12%정도로 증가할 것으로 예상된다.

표 1. 154kV 송전선로 중 지중선로의 공장 및 점유율(C-km)

Table 1. Route length and procession rate of 154kV underground cable

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

국내 22.9kV 배전계통에 적용되는 케이블은 CNCV 325(mm²), 10MW 용량으로서, 2020년 현재 197,660(C-km) 공장을 가지고 있으며 전체 배전선로 대비 8.7%의 점유율을 나타내고 있다. 향후 2020년까지 배전급 케이블은 252,357(C-km) 공장과 점유율 13.4%를 기록할 것으로 예상된다.

2.2 초전도케이블 도입 필요성

서울과 같은 대도시의 경우 빌딩의 집중, 도시기능의 고도화에 의해 전력부하 밀도가 높아짐에 따라 지중 케이블의 대용량화가 불가피하지만, 회선당 송전용량 증대에는 한계가 있다. 복수회선 포설은 과밀화된 도심부에서 부지를 확보하는 데에 어려운 문제가 있고, 다회선 포설시에 따른 토목 공사비의 과중한 부담 때문에 어려움에 직면하고 있다. 지중선로 증설과 더불어 도심내의 변전소 신·증설도 필요해 지며 이는 전체적인 전력공급 비용 증가는 물론이고 민원문제와 환경적인 측면에서도 부정적 영향을 미친다.

이러한 상황에서 초전도 케이블은 기존의 도심내부 송배전 용량증대와 변전설비 저감을 위한 획기적인 대안으로 대두되고 있다. 도심내부에서 초전도 케이블을 적용할 경우 계통관점의 일반적인 적용효과를 요약하면 다음과 같다.

- 송전효율 증대 (송전손실 감소)
- 저압 대용량 송전가능
- 케이블 포설 입지 및 포설 공사비 감소
- 도심부 154kV 중간 변전소 생략 혹은 개폐소 전환 가능
- 친환경적 성격

3. 초전도케이블 기술적 기본 특성

초전도케이블의 계통적용 방안에 대한 심층적인 기술적 검토를 위해서는 우선적으로 계통관점에서 초전도케이블의 기본특성을 파악해야 한다. 현재 국내에서 초전도케이블 개발이 진행 중인 상태로서 정확한 기술적인 파라미터를 도출하는

데는 어려움이 있다. 표-2는 동일 전압계급에서 초전도 케이블의 송전용량이 상전도 케이블의 수배 이상인 경우를 가정하고, 기존 상전도케이블과 초전도 케이블의 전기적 특성을 비교한 것이다.

표 2. 기술적 특성 파라미터

Table 2. Basic technical parameters

항 목	초전도 케이블	상전도케이블	비 고	
계통정수	R	≈ 0.0 (초전도) ≈ R _q (Quenching)	100%	
	L	50% 내외	100%	
	C	75% 내외	100%	
	$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$	82% 내외	100%	
	$SIL = \frac{V^2}{Z}$	122% 내외	100%	
전력손실	거의 없음.	2-3%내외		
전압강하	불리	유리	동일 송전량이면 반대결론	
전압변동	경부하시 불리 중부하시 유리	경부하시 불리 중부하시 유리	SIL 값에 따른 결론	
고장전류	유리	불리	기존 154→22kV급 HTSC 대체경우는 반대결론 가능	
안정도 측면	유리	불리	큰 차이 없음	
전력조류 재분배	초전도 케이블의 경우 용량대비 조류분포 문제 검토요망			

초전도 케이블의 특성임피던스는 기존 케이블에 비하여 약간 적지만, 대신에 초전도 케이블에 흐르는 전류는 상전도 케이블에 비하여 훨씬 크기 때문에 전체적으로 전압강하 측면에서는 초전도 케이블이 약간 불리할 수 있다. 또한, 초전도 케이블과 상전도 케이블간의 조류 재배분 문제가 발생할 것으로 예견된다. 그러나, 초전도 케이블선로에서의 전압강하 및 조류재배분 문제는 기술적인 대안과 적절한 적용위치 선정을 통하여 충분히 극복할 수 있는 문제이다.

4. 국내 22kV급 초전도 케이블 적용 가능성 검토

4.1 적용방안 개요

22kV급 초전도 케이블 적용 가능성은 검토하는 관점에 따라서 다양한 분류가 가능하지만 본 검토에서는 적용대상 및 적용대안 관점에서 크게 수용가(Customer) 및 전력회사(Utility) 계통으로 구분할 수 있다.

첫 번째로 수용가 계통에의 적용대안은 개별 수용가별 조건을 고려한 사안별 적용개소를 찾는 작업이므로 Niche Marketing 적인 성격을 지니고 있다. 따라서, 세부 적용대안에 대한 구체적인 언급은 해당 수용가별 특수조건에 달려있으므로, 적용대안별 구체적인 언급은 곤란하다.

수용가 계통과 달리 전력회사계통에의 적용은

표 3.수용가 계통에의 22kV급 케이블 적용대안
Table 3. Application methodology of 22kV cable for Customer system

적용대안	적용사유	비고
특수개소	초전도 케이블 적용의 불가피한 사유존재	특정개소
10 MW 초과 22.9kV 수용가	10MW 초과 수용가 선로의 154kV 수용대체효과	특정개소

특정한 조건에 부합하는 일반론적인 범용의 적용대안을 찾는 것이다. 전력회사 계통에 대한 개별 적용대안을 구분하면 표-4와 같다.

표 4. 전력회사계통에의 22kV급 초전도 케이블 적용대안

Table 4. Application methodology of 22.9kV HTS cable for Utility system

적용대안	적용사유	비고
신설 발전소 IPB	저전압, 대용량	특정개소
해안가 분산전원 인출선로	저전압, 대용량	특정개소
서울인근 복합화력 발전소 인출선로	저전압, 대용량	특정개소
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	적용가능유형
기존 154 kV 선로의 22kV급 초전도 케이블 대체	- 도심 154kV S/S 원격화 - 노후 154kV 케이블 교체시 22kV급 초전도 케이블 적용 - 신설예정 154kV 선로를 22kV급으로 대체(신설도심 154kV S/S 생략가능개소)	적용가능유형

그 중에서 기존 154kV 케이블을 22kV급 초전도 케이블로 대체하는 방안에 대하여 세부적으로 살펴보면 다음과 같다.

4.2 154kV 케이블의 22.9kV 초전도케이블 대체

154kV 지중선로 신설 혹은 기존 케이블 노후화로 인한 대체시에 22.9kV 케이블로 대체하는 방안이다. 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. 이 경우 아래와 같은 획기적인 장점을 지니고 있으며, 도심부 송배전 방식의 패러다임이 변경되는 큰 사안으로 판단된다.

- 도심부 154kV 변전소 생략 및 22.9kV 개폐소 설치 - 민원문제 감소, 변전소 부지절감, 변전비용 획기적 절감
- 도심부 지중선로 부지 최대한 절감
- 동일관로에 대용량 송전가능

현실적으로 도심내부의 모든 154kV 변전소를 일시에 22.9kV 개폐소로 변환하는 것은 불가능하므로 단계별 추진전략이 필요한데 이러한 방식의 22.9kV 초전도케이블 적용을 위한 단계

별 추진전략을 구상하면 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 22kV급 선로로 대체한다. 즉, 154kV 1회선을 22kV급 1회선으로 1 대 1로 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.

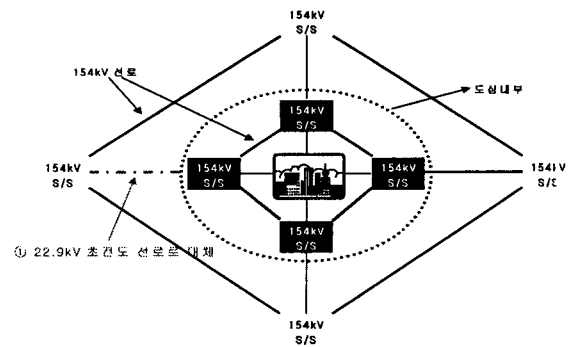


그림 2. 22kV급 초전도 케이블 적용 계통구성 방안 - 1단계

Fig. 2. STEP-1: Application methodology of 22.9kV HTS cable application

(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.

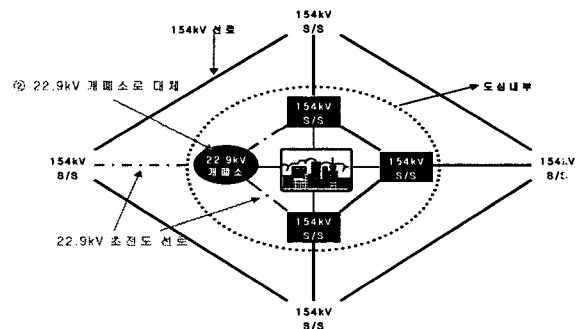


그림 3. 22kV급 초전도 케이블 적용 계통구성 방안 - 2단계

Fig. 3. STEP-2: Application methodology of 22.9kV HTS cable application

**(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 변전 설비 비용의 막대한 감소로 인한 이익을 얻을 수 있다.

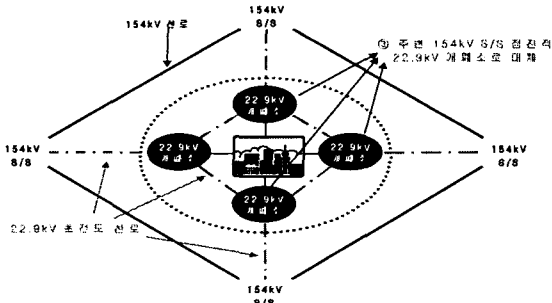


그림. 4. 22kV급 초전도 케이블 적용 계통구성 방안 - 3단계

Fig. 4. STEP-3: Application methodology of 22.9kV HTS cable application

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

도심내 기존 22.9kV 케이블을 22kV급 초전도 케이블로 교체하는 것은 154kV 선로 대체와 무관하게 별도로 진행되어 간다고 가정할 수 있다. 즉, 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 크기로서 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

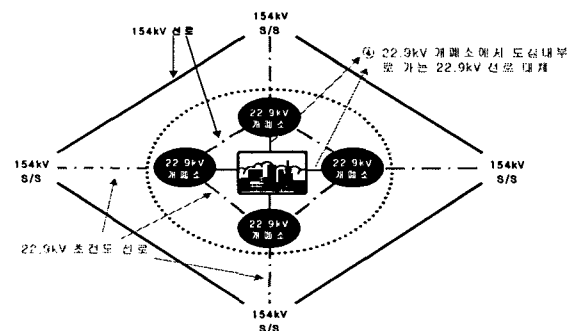


그림. 5. 22kV급 초전도 케이블 적용 계통구성 방안 - 4단계

Fig. 5. STEP-4: Application methodology of 22.9kV HTS cable application

2020년경의 도심지 부하밀도가 현재보다 2~

2.5배 정도 증가한다고 보고 배전선로 1개 피더가 관할하는 면적을 현재보다 2배 정도로 상정했을 때 기존 지중 케이블 10MVA보다 5배 정도 용량이 소요될 것으로 판단되기 때문이다.

5. 결 론

본 논문의 전체적인 결론과 향후 계통적용을 염두에 둔 제안사항을 기술하면 다음과 같다.

- 저전압·대용량 송전이 가능하며 송전손실을 크게 저감시킬 수 있는 초전도 케이블은 미래 지중계통의 문제점을 해결할 수 있는 획기적인 대안으로 평가된다.
- 22kV급 초전도 케이블의 적용 가능성을 수송계통과 전력회사 계통으로 구분하여 살펴 보았으며, 특히 154kV 상전도케이블의 22.9kV 초전도케이블로의 대체를 위한 단계별 전략에 대하여 세부적으로 고찰하였다.
- 도심부 전력공급을 위한 154kV 상전도케이블의 22.9kV 초전도케이블 대체는 154kV 변전소 생략에 따른 민원문제, 경제적 이점과 단위 입지당 송전용량 증대라는 획기적인 장점을 지니고 있다.
- 향후 22.9kV 초전도케이블 연구개발 방향과 관련하여 154kV 케이블 대체를 위한 200MW급 22.9kV 초전도케이블과, 배전선로 대체를 위한 50MW급 22.9kV 초전도케이블로 구분하여 개발할 필요성이 있다.
- 저압대용량 22.9kV 케이블 적용을 하는 경우 저전압, 대용량 송전으로 인하여 전압강하와 조류재분배 등 계통측면에서의 기술적 보완대책이 요구되므로 이에 대해서는 별도로 세부적인 검토를 해야 한다.

“본 연구는 과학기술부 21세기 프론티어연구개발사업인 차세대초전도용융기술개발사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.”

[참 고 문 헌]

- (1) Ladie Pierluigi, Mansoldo Andrea “HTS Cable application studies and technical/economical comparisons with conventional technologies”, PES-WM 2002
- (2) Richard Silberglitt, Emile Ettetdgui, Anders Hove “Strengthening the Grid : Effect of High Temperature Superconducting Power Technologies on Reliability, Power Transfer Capacity and Energy” RAND, 2002
- (3) 윤재영, “22.9kV 초전도케이블 적용간오성 분석” 초전도케이블 기획자료, 2003
- (4) 한국전력공사, “2002년 장기 송변전 설비계획”, 2002