

## 초전도케이블의 계통적용 가능성

윤 재 영

한국전기연구원 전력연구단

### 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 위해서는 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 고는 국내에서 현재 개발이 진행 중인 22kV급 초전도 케이블을 실 전력계통에 적용하기 위한 가능성을 분석한 것이다. 22kV급 초전도 케이블을 기존 154kV 혹은 22.9kV 상전도 케이블의 대안으로 적용하는 것에 중점을 두고 검토하였다. 본 고에서는 정성적인 분석을 통하여 22kV급 초전도 케이블의 실 계통 적용대안을 도출하고, 각 대안별로 기술적 배경과 향후 적용 가능성에 살펴보았다.

### 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 0.53 C-km/MW로 감소할 것으로 예상된다. 이는 향후 수요증가에 비해 송배전선로의 확충이 충분하지 못함을 의미하며, 대응량 선로의 적용 즉, 단위 선로당의 송배전용량이 증가되어야 하는 기본적

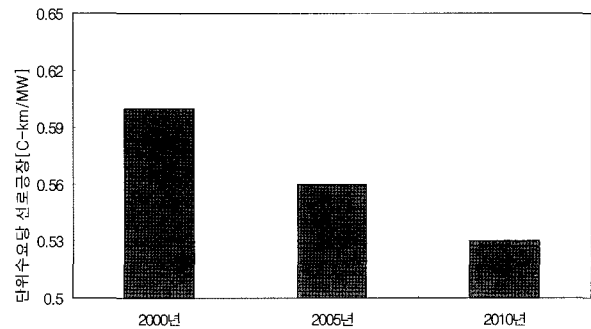


그림 1. 연도별 단위수요당 선로공장 추이

인 배경을 나타낸다.

표 1은 송전선로 지중화 추이를 나타낸 것인데, 154kV 송전선로의 지중화율이 현재 6.8% 수준에서 가공선로의 경과지 확보난과 환경문제 때문에 향후 2010년경에는 12%정도로 증가할 것으로 예상된다.

표 1. 154kV 송전선로 중 지중선로의 공장 및 점유율 [C-km]

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[mm<sup>2</sup>], 10MW 용량으로서, 202년 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] 공장 점유율 13.4%를 기록할 것으로 예상된다. 그러나 도심내에서의 지속적인 부하밀도 증가에 따라 154kV 변전소와 송배전 지중케이블의 지속적인 증설이 요구되고 있다.

2.2 초전도 케이블 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 포설시 이에 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 저전압·대용량 송전이 가능하며 송전손실을 크게 저감시킬 수 있는 초전도 케이블은 기존의 도심내부 송배전 용량증대와 변전설비 저감을 획기적인 대안으로 대두되고 있다. 도심내부에 초전도 케이블을 적용하는 경우 도심부에 건설되어야 할 154kV 중간변전소를 상당부분 생략할 수 있다. 그리고, 지중케이블의 크기가 적어지고 대용량송전이 가능하므로 지중관로 건설비를 대폭적으로 경감시킬 수 있다. 도심내부에서 초전도 케이블을 적용할 경우 계통관점의 일반론적인 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. 초전도 케이블 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 도출하는데는 어려움이 있다. 표 2는 동일 전압계급에서 초전도 케이블의 송전용량이 상전도 케이블의 수배 이상인 경우를 가정하고, 기존 상전도케이블과 초전도 케이블의 전기적 특성을 비교한 것이다. 초

전도 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, 초전도케이블과 상전도 케이블간의 조류 재배분 문제가 발생할 것으로 예견된다. 그러나, 초전도 케이블 선로에서의 전압강하 및 조류재배분 문제는 기술적인 대안과 적절한 적용위치 선정을 통하여 충분히 극복할 수 있는 문제이다.

표 2. 기술적 특성 파라미터 (동일전압계급, 송전용량과 실제 운전용량은 초전도 케이블이 수배이상임을 가정한 것임)

항 목	초전도 케이블	상전도 케이블	비 고	
계통 정수	R	≒ 0.0 or ≒ R <sub>Q</sub>	100%	
	L	75% 내외	100%	
	C	50% 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	SIL값에 따른 결론	
고장전류	유리	불리	기존154를 22kV급 HTSC 대체경우는 반대결론 가능	
안정도 측면	유리	불리	큰 차이 없음.	
전력조류 재분배	초전도 케이블의 경우 용량대비 조류분포 문제 검토요망			

4. 22kV급 초전도케이블 적용 가능성

4.1. 적용가능성 개요

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

첫 번째로 수용가 계통에의 적용대안은 개

별 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 내용은 개별적으로 상세검토가 요구된다.

표 3. 수용가 계통에의 22kV급 케이블 적용대안

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

수용가 계통과 달리 전력회사계통에의 적용은 특정한 조건에 부합하는 일반론적인 범용의 적용대안을 찾는 것이다. 전력회사 계통에 대한 개별 적용대안을 구분하면 표 4와 같다. 그 중에서 도심내부 전력공급 현안과 경제성 관점에서 가능성이 높다고 판단되는 기존 154kV 케이블을 22kV급 초전도 케이블로 대체하는 방안에 대하여 세부적으로 살펴보면 다음과 같다.

#### 4.2. 154kV 상전도케이블의 22.9kV 초전도케이블 대체방안

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 송배전방식의 페러다임을 변경하는 중대한 사안으로 판단된다.

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

표 4. 전력회사계통에의 22kV급 초전도 케이블 적용대안

적용대안	적용사유	비고
신설발전소 IPB	저전압, 대용량	특정개소
해안가 분산전원 인출선로	저전압, 대용량	특정개소
복합화력발전소 인출선로	저전압, 대용량	특정개소
기존 22.9kV 선로를 22kV급 초전도 케이블화	- 노후 케이블 교체 - 용량증대를 위한 대체 : 부하 증가 및 입지난으로 기존 케이블 증설 곤란	도심내적용
기존 154kV 선로의 22kV급 초전도케이블 대체	- 도심 154kV S/S 원격화 - 노후 154kV 케이블 교체시 22kV급 초전도 케이블 적용 - 신설예정 154kV 선로를 22kV급으로 대체(신설도심 154kV S/S 생략가능 개소)	도심내부적용

현실적으로 도심내부의 모든 154kV 변전소를 일시에 22.9kV 개폐소로 변환하는 것은 불가능하므로 단계별 추진전략이 필요한데 이러한 방식의 22.9kV 초전도케이블 적용을 위한 단계별 추진전략을 구상하면 다음과 같다.

#### (1단계) 154kV S/S 양단간 선로만 교체

- 노후케이블 교체, 부하증가로 인한 신 선로 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 1대 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.

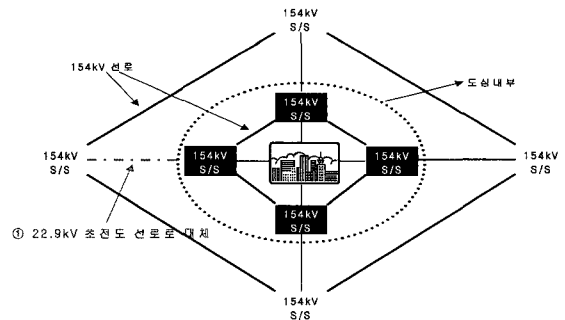


그림 2. 22kV급 초전도 케이블 적용 계통구성방안 - 1단계

## 고온초전도 전력 케이블 특집

### (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.

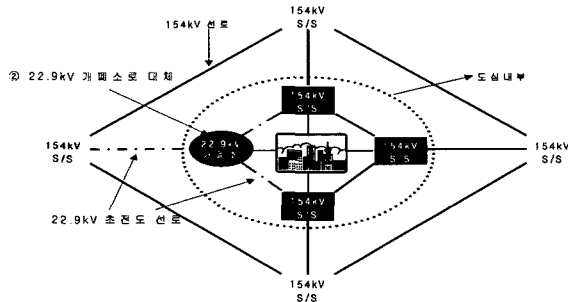


그림 3. 22kV급 초전도 케이블 적용 계통구성 방안 - 2단계

### (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 변전설

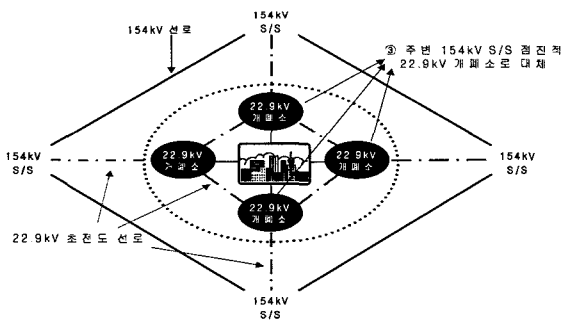


그림 4. 22kV급 초전도 케이블 적용 계통구성 방안 - 3단계

비 비용의 막대한 감소로 인한 이익을 얻을 수 있다.

### (4단계) 도심내부 전력공급을 위한 기존 22.9kV 선로를 22kV급 초전도 케이블 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 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.

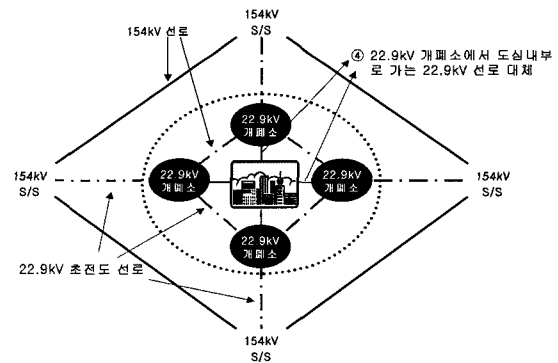


그림 5. 22kV급 초전도 케이블 적용 계통구성 방안 - 4단계

## 5. 결 론

본 고는 초전도케이블의 향후 계통적용 가능성에 대하여 고찰한 것인데 결론 및 제안 사항을 기술하면 다음과 같다.

- 초전도 케이블은 저전압·대용량 송전이 가능하며 송전손실을 크게 저감시킬 수 있으므로 미래 지중계통의 문제점을 해결할 수 있는 획기적인 대안으로 평가된다.
- 22kV급 초전도케이블의 적용 가능성을 수용가 계통과 전력회사 계통으로 구분하여 살펴보았다. 특히 154kV 상전도케이블을 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, 기존 배전선로 대체를 위한 50MW급 22.9kV 초전도케이블로 구분하여 개발할 필요가 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.

## 감사의 글

“본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.”

“This research was supported by a grant from Center for Applied Superconductivity Technology of the 21st Century Frontier R&D Program funded by the Ministry of Science and Technology, Republic of Korea”

## 참고문헌

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

## 저자이력



윤재영(尹在暎)

1962년 7월 30일생. 1985년 부산대학교 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 기술사(발송배전). 1998년 동 대학원 졸업(공학박사). 1997년~현재 한국전기연구원 신전력시스템 연구그룹장(책임연구원)  
Tel: 055-280-1316  
E-mail : jyoon@keri.re.kr