

A Study on the Application of HTS Cable in Korean Power System

李昇烈* · 金鍾律* · 尹在映**
(Seung Ryul Lee · Jong-Yul Kim · Jae Young Yoon)

Abstract - As power system is developed, an expansion of power equipments is very necessary to the stability of power system and the problem of locating the facilities on downtown is more serious. At this time introduction of superconducting devices are very good alternative to solve the problem. This study describes cases possible to apply HTS cable to Korean power system and analyzes the power system with HTS cable. First of all, we determine the case that HTS cable can be applied to KEPCO systems and analyze the static state of power system. Then we propose a solution of the problem resulting from the analysis.

Key Words : 초전도케이블, KEPCO System

1. 서 론

국내계통은 전체 계통부하의 40%를 수도권 지역이 차지하고 있으며, 발전단지는 수도권에서 먼 영동과 중부 및 남부지역에 편재되어 있다[1]. 이러한 과도한 전원 원격화와 부하의 고밀도화로 인해서 특히 수도권 지역은 도심내부의 전력공급을 위한 송전용량 확보는 매우 중요한 문제이다. 이러한 수도권지역의 송전용량 확보와 안정도 문제를 근본적으로 해결하기 위해서는 부하의 증가에 맞추어 발전 및 송배전설비 등 전반적인 전력계통 설비의 보강이 요구된다. 현재 이를 위해서 765kV 송전망 운영, 345kV 및 154kV 초고압 변전소의 증설과 LNG 복합발전소 건설을 확대하고 있으나[1][2], 비용측면과 NIMBY 현상에 따른 부지확보와 건설장애 등으로 안정적인 전력공급에 차질을 빚고 있다. 특히, 대도시의 경우 신규변전소 및 송배전망 구성을 위한 공간이 부족할 뿐만 아니라, 환경문제에 대한 우려와 국민의식의 향상으로 인한 민원 등으로 인해서 전력설비의 입지를 위한 여건이 악화되고 있다.

전력계통이 발전함에 따라서 나타나는 계통문제와 함께 전력계통의 전반적인 설비확보 문제가 심각한 시점에서 초전도케이블의 도입은 매우 매력적인 대안이라고 할 수 있다. 초전도케이블은 기존케이블에 비해서 부피가 적을 뿐만 아니라 대용량화가 가능하며, 초전도체 자체의 저항이 거의 0(zero)이기 때문에 전력손실 측면에서도 상당히 유리하다고

평가받고 있다. 따라서 초전도케이블은 현재 국내 전력계통의 가장 큰 문제 중 하나인 대도시의 송전용량확보 문제를 해결하는데 큰 도움이 될 것으로 사료된다.

이러한 초전도케이블의 계통적용을 위해서는 기술성/경제성 등의 다양한 측면에서의 사전연구가 필수적이다. 본 연구에서는 기술성 관점에서 국내 22.9kV 및 154kV 계통에 초전도케이블을 적용할 수 있는 개소 도출한 후, 각 사례별로 기술적 문제점 확인 및 계통측면에서의 적용가능성을 판단하였다.

2. 국내계통 현황 및 전망

2.1 전력수요 현황 및 전망

지역내 경제지표 및 부하성장 실적을 반영하여 지역별 동시 최대부하 구성비를 전망하면 표 1 및 그림 1과 같다. 여기서, 발전소 소내소비전력 및 계통손실은 지역수요 점유비율로 배분하였다. 2015년경의 지역별 동시 최대 수요 추이를 살펴보면 수도권, 영남, 영동권의 경우 정체 또는 약간의 감소 추세를 나타내는 반면 중부 및 호남권의 경우 서해안 개발 등으로 인해 그 수요가 점점 증가하고 있다. 또한 지역별 최대 수요 점유율을 살펴보면 서울, 경기 지역인 수도권 전체 대비 약 40% 이상을 차지하고 있어 부하 밀도가 매우 높은 지역임을 알 수 있다. 이러한 수요전망에 의거하여 다음과 같은 사항을 예측할 수 있다.

수도권 지역은 고도 부하 밀집지역으로서 도심내 전력공급을 위하여 향후에도 지중 케이블의 사용이 지속적으로 증대할 것이며, 변전설비 등의 용량 증대 및 신설이 증가할 것으로 전망된다. 또한, 도심의 부하집중으로 인해서 고장전류 문제 역시 심화될 것으로 예상된다.

* 교신저자, 正會員 : 韓國電氣研究院 電力研究團 研究員
E-mail : srllee@keri.re.kr

* 正會員 : 韓國電氣研究院 電力研究團 研究員

** 正會員 : 韓國電氣研究院 電力研究團 責任研究員

接受日字 : 2004年 5月 8日

最終完了 : 2004年 11月 19日

표 1 5대 지역별 동시최대 수요 추이

Table 1 Peak load of 5 areas

(단위 : MW)

년도	수도권	영동권	중부권	호남권	영남권	계
2001년	18,380	2,648	5,033	3,381	13,683	43,125
2005년	22,082	3,174	6,140	4,076	16,387	51,859
2010년	25,777	3,698	7,269	4,783	19,097	60,624
2015년	28,765	4,119	8,224	5,365	21,272	67,745

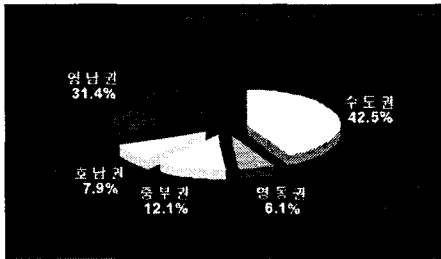


그림 1 2015년 지역별 동시최대 수요 점유 비율
Fig. 1 Peak load percentage of 5 areas in 2015

2.2 송전선로

향후 2015년까지 예상되는 송전선로의 전압계급별 선로공장 및 구성비율 추이를 살펴보면 표 2와 같다. 송전선로 총공장은 전력수요 증가에 따라 2001년 25,583km에서 2015년에는 34,698km로 약 1.36배정도 증가할 것으로 예상된다. 특히, 초전도케이블의 적용대상 전압계급인 154kV 송전선로는 2001년 현재 17,576km에서 2015년에는 24,032km가 될 것으로 전망된다. 전압 계급별 구성에 있어서도 현재는 154kV와 345kV가 송전계통의 주종을 이루고 있지만 향후에는 765kV 선로 점유율이 다소 증가할 것으로 예상된다. 또한 수도권과 같은 대도시의 부하 밀도가 기타 지방도시에 비해 매우 높아질 것으로 예상되며 계통 구성에 있어서도 공급 신뢰도를 높이기 위한 계통 다중연계가 더 복잡해질 것으로 판단된다.

표 2 송전선로 추이

Table 2 Change of transmission line

전압 [kV]	2001년(실적)		2005년		2010년		2015년	
	회선공장 [C-Km]	구성비 [%]	회선공장 [C-Km]	구성비 [%]	회선공장 [C-Km]	구성비 [%]	회선공장 [C-Km]	구성비 [%]
765	662	2.6	770	2.6	1,015	3.0	1,019	2.9
345	7,345	28.7	8,219	27.8	9,524	28.5	9,647	27.8
154	17,576	68.7	20,612	69.6	22,903	68.5	24,032	68.3
합계	25,583	100	29,601	100	33,442	100	34,698	100

단위 수요당 선로공장의 경우, 표 3 및 그림 2와 같이 2001년 약 0.59 C-Km/MW에서 향후 2015년에는 0.51 C-Km/MW로 감소하는데, 이는 구조개편에 따른 경제성의 추구하고 더불어 송전설비의 건설여건이 점점 악화됨을 의미하며, 필연적으로 단위 선로당 송전용량의 증대방안을 강구해야 함을 뜻한다. 이러한 관점에서 초전도케이블 혹은 여타 신기술을 적용한 송전용량 증대방안을 강구해야 한다.

표 3 단위수요당 선로공장 추이

Table 3 Expected route length per unit demand

년도	2001년	2005년	2010년	2015년
최대수요 [MW]	43,125	51,859	60,624	67,745
선로공장 [C-km]	25,583	29,601	33,442	34,698
단위수요당 선로공장 [C-km/MW]	0.59	0.57	0.55	0.51

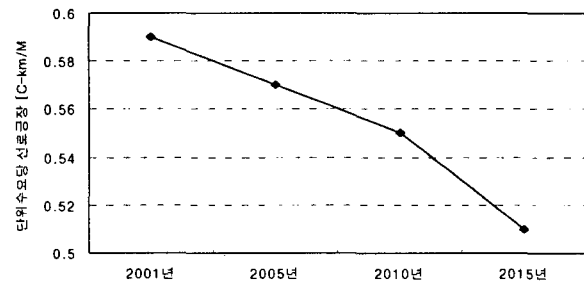


그림 2 단위수요당 선로공장 추이
Fig. 2 Expected route length per unit demand

154kV 송전선로의 지중화 추이를 살펴보면 표 4와 같이 전체 지중선로의 90%이상을 차지하는 154kV 전압계급의 지중화율이 2001년 약 8.3% 수준으로 그리 높지 않은 상황이다. 그러나 가공 송전선로의 경과지 확보가 점점 더 어려워지고 환경에 대한 관심이 증대되어 향후 2015년경에는 154kV 지중화 선로의 점유율이 12.8%정도로 증가할 것으로 예상된다.

표 4 154kV 지중선로의 공장 및 점유율 추이

Table 4 Expected Route length and proportion of 154kV underground line

단위 : 누계C-Km

구분	2001년	2005년	2010년	2015년
총 송전선로 공장	17,576	20,612	22,903	24,032
지중선로 공장	1,465	2,219	2,651	3,075
점유율(%)	8.3	10.8	11.6	12.8

2.3 배전 지중선로

현재 국내 22.9kV 배전계통에 주로 적용되는 케이블은 CNCV 325[mm²], 10MW 용량으로서 1973년 서울시 효자동~광화문간 선로가 최초로 서울 도심지역에 설치되어 80년대 이후 급격하게 증가되어 왔다. 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. 현재 국내의 배전계통에서 전력수급계획 및 장기송변전설비계획과 같은 전체 배전계통의 향후 설비계획 자료는 공표되고 있지 않는 실정이다. 배전계통은 송전계통과는 달리 지역별로 운영되며 그에 따라 설비계획 역시 국부적으로 수립되기 때문에 국내 전체 배전계통설비계획에 대한 통계가 존재하지 않는다는 것이다. 따라서 본 연구에서는 과거 배전급 케이블 현황자료를 바탕으로 아래 표와 같이 향후 2020년까지의 배전급 케이블과 가공 포설 공장 그리고 케이블 공장의 점유율

(케이블 공장/중 배전급 공장)의 현황 및 성장 추이를 전망 하면 다음과 같다.

표 5 배전 지중케이블 현황 및 전망

Table 5 Change of underground line for distribution system

구분연도	케이블공장 (C-km)	가공공장 (C-km)	배전선로 총공장 (C-km)	점유율 (%)
2000년	14,925	170,691	185,616	8.0
2005년	19,901	188,814	208,715	9.5
2010년	24,540	201,313	225,853	10.9
2015년	29,178	210,824	240,002	12.2
2020년	33,817	218,540	252,357	13.4

3. 초전도케이블 도입필요성

위에서 살펴본 바와 같이 우리나라 부하는 꾸준한 성장을 나타낼 것으로 예상되며 지역적으로는 서울을 비롯한 수도권 지역에 매우 집중되어 있다. 송전선로 역시 향후 꾸준한 확장이 예상되지만 단위 수요당 선로공장은 오히려 감소하는 경향을 보일 것으로 판단된다. 이러한 결과는 계통의 송전혼잡을 초래하여 전력공급 신뢰도 저하 및 향후 전력산업 구조개편후의 전력가격 상승을 초래할 소지가 있다. 따라서 전력공급 신뢰도를 높이고 전력가격을 안정하게 하기 위해서는 향후 수요증가에 대한 충분한 송전설비의 확충이 요구된다. 그러나 집단민원 등으로 인한 건설기간 장기화, 전력설비에 대한 부정적 시각에 따른 부지확보 곤란 등의 문제로 인하여 원활한 전력설비의 확충에 어려움이 따른다.

지중송전 선로의 경우는 향후 꾸준한 증가 추세를 보이며, 154kV 지중선로의 점유율이 2015년경에는 전체 154kV 송전선로의 12.8%정도까지 증가할 것으로 예상된다. 특히 서울과 같은 대도시의 경우 높은 부하 밀도와 부하증가율에 비해 송전선로 추가 확충을 위한 경과지 확보가 거의 불가능하여 송전선로의 지중화가 불가피하다. 대도시의 지중 송전선로의 경우 다음과 같은 제약사항들로 인해 여러 문제점을 가지고 있다.

- 대도시의 경우 빌딩의 집중, 도시기능의 고도화에 의해 전력부하 밀도가 높아짐에 따라 지중 케이블의 대용량화가 불가피하지만, 회선당 송전용량 증대에는 한계가 있다.
- 또한, 복수회선 포설은 과밀화된 도심부에서 부지를 확보하는 데에 어려운 문제가 있고, 다회선 포설시 이에 따른 토목 공사비의 과중한 부담 때문에 어려움이 직면하고 있다.
- 그리고, 지중 케이블 용량의 한계와 다회선 포설에 따라서 지속적인 도심내의 변전소 신, 증설도 필요해지며 이는 전체적인 전력공급 비용 증가는 물론이고 민원문제와 환경적인 측면에서도 부정적 영향을 미친다.

이러한 상황에서 서전압·대용량 송전이 가능하며 송전손실을 크게 경감시킬 수 있는 초전도케이블은 매우 좋은 대

안의 하나로서 대두되고 있다. 만약 초전도케이블을 적용하는 경우 동일 크기로 대용량송전이 가능하여 송전선로 회선수를 줄일 수 있으므로 송전관로(지하전력구, 동도) 건설비를 대폭적으로 경감시킬 수 있을 것으로 판단된다.

4. 검토개요

4.1 해석사례 선정

실계통에서 초전도케이블을 적용하기 위한 적용가능개소를 도출하기 위해서 우선 검토 CASE로서 154kV급과 22.9kV급에 대해서 각각 수용가계통(L)과 전력회사계통(U)를 고려하였다. 이러한 분류기준은 가능한 모든 CASE를 포괄하기 위한 것이며, 앞서 기술한 분류기준 하에 실제 적용 가능 CASE를 상정하면 표 6과 같다. 본 검토에서는 도출된 각각의 CASE에 대해서 PSS/E 및 EMTDC 계통검토를 통해서 적용가능성을 판단하고, 기술적 문제점 발생시 이에 대한 대안을 제시한다.

표 6 초전도케이블 적용가능 CASE 및 해석방법

Table 6 Test case for HTS cable application

해석사례	적용대상 및 적용방법	용량	해석방법
CASE-CAB-L1	10MW 초과 22.9kV-수용가	50 MVA급	EMTDC 계통해석
CASE-CAB-L2	154kV 수용가 154kV 초전도케이블 적용	500 MVA급	PSS/E 계통해석
CASE-CAB-L3	154kV 수용가 22.9kV 초전도케이블 적용	200 MVA급	PSS/E 계통해석
CASE-CAB-U1	22.9kV 기존 케이블을 22.9kV 초전도케이블로 대체	50 MVA급	EMTDC 계통해석
CASE-CAB-U2	154kV 기존 케이블을 154kV 초전도케이블로 대체	1 GVA급	PSS/E 계통해석
CASE-CAB-U3	154kV 기존 케이블을 22.9kV 초전도케이블로 대체	200 MVA급	EMTDC 계통해석

4.2 초전도케이블 모델

본 연구에서는 현재 개발중인 초전도케이블을 대상으로 하였다. 개발중인 초전도케이블의 선로정수는 R은 거의 0(zero)에 가깝고, L과 C는 동일 전압계급의 상전도 케이블에 비해서 각각 50%, 75% 내외가 될 것으로 예상된다. 본 연구의 사례연구에서 PSS/E 계통검토시 표 7의 데이터를 적용하였으며, EMTDC 계통검토시는 자체 개발한 EMTDC 초전도케이블 모델을 적용하여 검토하였다.

표 7 초전도케이블 적용데이터

Table 7 Data for HTS cable

항목	기본특성
선로 데이터	R = 0 (초전도상태)
	R = R ₀ (초전도과과상태)
	L=상전도케이블의 약 50%
	C=상전도케이블의 약 75%

5. CASE별 계통해석 및 결과토의

5.1 CASE-CAB-L1

5.1.1 검토사례 도출배경

한전 배전계통 구성원칙에 의하면, 22.9kV feeder 1개에 부하최대량은 10MW이며, 이를 초과할 경우에는 154kV 수전을 해야한다. 즉, 현재 10MW 이하로 수전하는 22.9kV 수용가의 부하가 급증하여 10MW를 초과하는 경우, 22.9kV 수용가는 수전전압레벨을 154kV로 격상해야한다. 본 사례는 이러한 경우 154kV급으로 전압레벨을 승격하는 대신에 50MVA급 22.9kV 초전도케이블로 대체하는 경우에 대한 검토이다. 이렇게 부하의 증가로 인해서 22.9kV 수용가가 추가용량을 확보하기 위해서 선로를 증설하거나 154kV 수용가로 전압레벨을 격상해야 하는 경우, 22.9kV 초전도케이블을 적용한다면, 증설선로를 위한 추가적인 관로공사가 필요 없으며 154kV로 전압을 격상하지 않아도 되므로 경제적인 면에서 매우 유리하다는 장점이 있다. 이와 같이 본 사례는 다양한 관점에서 충분한 적용가능성이 있을 것으로 판단되어 초전도케이블 적용시의 검토사례로서 선정하여 계통해석을 수행하였으며, 세부 내용은 다음과 같다.

5.1.2 계통구성

22.9kV 수용가 계통에 대한 상세해석은 배전급의 계통 해석이므로 EMTDC 계통해석을 수행한다. 대상계통으로는 그림 3과 같이 실제계를 등가화한 임의의 3모선계통에서 배전계통 (B) 부분의 Sub-system 내부의 22.9kV 부하 중 하나를 대표수용가로서 가정하여 그림 4와 같이 구성하였다. 본 사례계통의 대표적 계통데이터는 다음과 같다.

○ 전원 등가임피던스(모선 1 및 2의 수치 동일)

- 국내 154kV 계통에서의 고장전류 수준은 차단기의 정격용량인 50kA 미만이므로, 이를 고려하여 2개의 전원에서 유입되는 고장전류량의 합을 40kA 정도로 가정하였다. 따라서 각각의 전원단에서 발생하는 고장전류가 20kA정도가 되도록 아래와 같이 전원의 등가임피던스를 산정하였다.
- $ZS1 = ZS2 = 4.579 \angle 85^\circ \Omega$ (등가전원에서 유입되는 고장전류량 = 20kA 기준)

○ 154kV 등가전원 전압

- 일반적으로 실제계통에서 발전단 모선이 아닌 부하 및 중간모선에서의 모선전압은 대부분 1.0 p.u. 이상이므로 본 검토에서는 1.03 p.u. 즉, 158.62kV로 가정하였다.
- 모선의 위상각은 선로에 흐르는 전력조류와 관계가 되며, 본 검토에서는 적절한 전력조류의 흐름이 발생하도록 아래와 같이 위상각을 임의로 선정하였다.
- 모선 1 : $VS1 = 158.62 \angle 5^\circ kV$
- 모선 2 : $VS2 = 158.62 \angle 0^\circ kV$

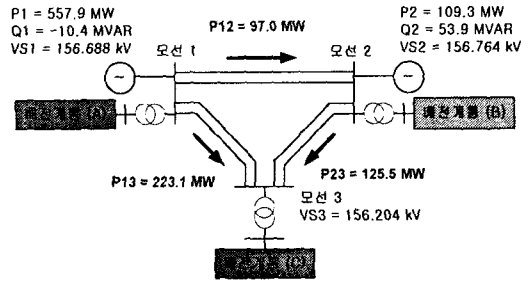


그림 3 CASE-CAB-L1 154kV 기본계통
Fig. 3 154kV base case for CASE-CAB-L1

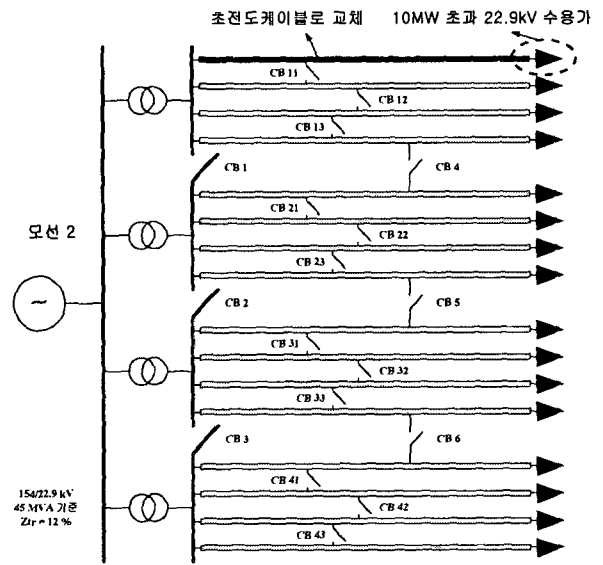


그림 4 CASE-CAB-L1 배전계통(B) 상세 구성도
Fig. 4 Detailed diagram of distribution power system (B)

○ 부하 데이터 (역률 = 0.93 으로 가정)

- 국내 전력계통에서 부하의 역률은 계통운영시점과 부하수준에 따라서 0.91 ~ 0.95 사이의 값을 가지므로 본 검토에서는 평균값인 0.93으로 가정하여 부하를 아래와 같이 결정하였다.
- 배전계통 A : $PL1 = 240 \text{ MW}, QL1 = 96 \text{ MVAR}$
- 배전계통 B : $PL2 = 80 \text{ MW}, QL2 = 32 \text{ MVAR}$
- 배전계통 C : $PL3 = 360 \text{ MW}, QL3 = 144 \text{ MVAR}$

여기서, 수용가의 초기부하는 $P = 5 \text{ MW}$ 이며 향후 이 부하가 급증하여 20MW로 증가하는 경우를 가정하여 계통해석을 수행하였다. 상기 구성한 22.9kV 수용가계통에 대한 세부데이터는 다음과 같다.

- 부하(수용가) 데이터 : 3상 부하모델 개발적용 (부하역률=0.93 기준)
- 검토대상 수용가 : $PL = 20 \text{ MW}, QL = 8 \text{ MVAR}$
- 기타 부하 : $PL = 5 \text{ MW}, QL = 2 \text{ MVAR}$

- 선로데이터
 - 선로길이 = 1 km
 - 선로정수

표 8 22.9kV 상전도 및 초전도 케이블 선로정수
Table 8 Data for 22.9kV conventional and HTS cable

선로정수	기존케이블 (CNCV 325mm ² 케이블)	초전도케이블
R	0.17905837e-4 [pu/m]	상전도케이블 × 0.001
L	0.28451021e-4 [pu/m]	상전도케이블 × 0.5
C	0.71171248e-6 [pu/m]	상전도케이블 × 0.75

5.1.3 해석결과 토의

CASE-CAB-L1의 해석결과를 나타내면 표 9 및 그림 10과 같다. 결과에서 알 수 있듯이 전력조류 측면에서는 특이 사항이 나타나지 않지만, 전압 측면에서는 약간의 전압강하가 나타난다. 이러한 전압강하는 초전도케이블의 특성으로 인한 현상이 아니며, 부하가 증가함에 따라 증대된 전력조류로 기인한 결과이다. 오히려 다수의 일반 상전도케이블을 적용하는 경우에 비해서 초전도케이블을 적용하는 경우가 선로임피던스가 작으므로 전압강하 면에서는 유리한 점이 있다. 본 검토결과에서 나타난 전압강하 수준은 배전계통의 전압강하 허용기준인 10%를 초과하지 않으므로 큰 문제는 되지 않을 것이며, 만약 전압강하 문제가 있는 경우가 발생한다면, 조상설비 등의 투입으로 충분히 극복 가능할 것으로 판단된다.

표 9 BASE-CASE/CASE-CAB-L1 전력조류결과
Table 9 Power flow results for BASE-CASE/CASE-CAB-L1

항목	전력조류방향 및 전원단모선	조류량 및 전력유입량 [MW]	
		BASE-CASE	CASE-CAB-L1
전력조류	1번 모선 → 2번 모선	97.0	101.4
	1번 모선 → 3번 모선	223.1	225.1
	2번 모선 → 3번 모선	125.5	123.1
전원단	P1 (1번 모선)	557.9	564.1
전력유입량	P2 (2번 모선)	109.3	116.6

*)BASE-CASE : 부하 증가 전(초전도케이블 적용 전)

표 10 BASE-CASE/CASE-CAB-L1 전압결과
Table 10 Voltage results for BASE-CASE/CASE-CAB-L1

전압계급 [kV]	모선	전압 [kV]		전압 [PU]		비고
		BASE-CASE	CASE-CAB-L1	BASE-CASE	CASE-CAB-L1	
154	VS1	156.688	156.54	1.017455	1.016494	송전계통
	VS2	156.764	156.596	1.017948	1.016857	
	VS3	156.204	156.045	1.014312	1.013279	
22.9	VL211	22.7865	22.3344	0.995044	0.975301	22.9kV 수용가 배전계통
	VL212	22.7865	22.3272	0.995044	0.974987	
	VL213	22.7865	22.3272	0.995044	0.974987	
	VL214	22.7865	22.3272	0.995044	0.974987	

상기 검토결과를 볼 때, 본 사례(10MW 초과 22.9kV 수

용가)는 기술적인 측면에서 초전도케이블의 적용이 가능할 것으로 판단된다. 물론 부하급중에 따른 부하단 전압강하 문제가 발생할 가능성이 약간은 존재하지만, 조상설비 투입 등의 기술적인 대안으로써 충분히 극복 가능하다. 본 사례는 기술적으로는 적용가능성이 있지만, 적용가능한 특정 사례를 찾아야할 뿐만 아니라 경제적인 측면에서는 각 CASE 별로 고려해야하는 경제성 평가요소가 매우 다양하므로 이에 대한 세밀한 경제성 평가가 필수적이다.

5.2 CASE-CAB-L2

5.2.1 검토사례 도출배경

본 사례는 154kV 수용가 계통에서 수요의 증가 등으로 인해서 선로의 증설이 요구될 때, 154kV 초전도케이블을 적용하는 경우이다. 실제 계통의 모든 수용가에 대한 초전도케이블 적용 가능성을 판단하기 위한 검토는 현실적으로 불가능하다. 따라서 본 사례에서는 우선 154kV 수용가로서 154kV 모선의 모든 부하를 154kV 수용가로서 가정을 하였다. 또한, 실 계통에서 모든 부하의 향후 증가량을 예측하는 것은 매우 어려운 문제이므로, 본 연구에서는 2010년도의 수용가 계통에 대해서 초전도케이블을 적용하였을 경우의 기본적인 계통특성을 검토하기 위한 CASE를 선택하였다. 우선, 부하 밀집지역인 서울지역(서울전력관리처 및 남서울전력관리처)에서 케이블로서 수전하는 모든 말단부하를 대상으로 하였으며, 이 중에서 선로의 길이 및 말단부하 크기에 따른 결과 비교를 위해서 다음 표와 같이 수용가(말단부하) 계통 CASE를 선정하였다.

본 검토에서 도출된 적용 사례는 대도심 지역의 일부 수용가 계통에 대한 것으로서 수용가의 부하가 30 ~ 140 MVA 내외이다. 그러므로 154kV 상전도케이블 용량인 200 MVA를 초과하는 154kV급 초전도케이블 용량을 고려할 때, 본 사례가 케이블용량을 모두 활용할 수 있는 완전히 적합한 사례는 아니다. 그러나 현재 실제 계통에서 200MVA 이상의 대규모 부하를 갖으며 초전도케이블 적용이 가능한 단일 수용가 계통은 매우 적으므로, 향후 대규모 수용가 계통이 발생할 경우에 대한 준비검토로서 본 검토를 수행하였다. 도출된 사례와 대규모 수용가 계통에 초전도케이블을 적용 시에 기본적인 계통현상은 유사할 것으로 판단되어 표 11과 같은 해석대상 CASE를 선정하였다.

표 11 CASE-CAB-L2 해석대상 CASE (2010년 peak 계통 대상)

Table 11 Test case for CASE-CAB-L2(2010 peak system)

초전도케이블 적용 대상선로		부하 [MVA]	해석 CASE
From	To (수용가)		
옥인	운니	31.13 MVA	CASE-CAB-L2-1
신길	봉천	105.55 MVA	CASE-CAB-L2-2
신내	중계	120.00 MVA	CASE-CAB-L2-3
성동1	왕십리	121.11 MVA	CASE-CAB-L2-4

5.2.2 해석결과 토의

본 사례는 154kV 송전계통에 대한 해석이므로 PSS/E 계

통해석을 중심으로 검토하였다. 본 검토에서는 상기 도출된 수용가계통 적용 CASE에 대해서 2010년 계통계획의 부하 수준에서 154kV 초전도케이블을 적용하기 전·후의 결과를 비교검토하였다. 표 12에서 전체적으로 전압은 약간의 저하 현상이 있지만 약 0.1% 내외의 매우 작은 값이다. 이러한 수치는 일반적인 모선의 계통운전제한인 $\pm 5\%$ 를 고려할 때, 매우 작은 수치이므로 무시할 수 있는 수준이다. 전체적인 전압저하현상은 초전도케이블의 충전용량이 기존 케이블에 비해서 작기 때문에 발생하는 것으로 판단된다. 또한 선로의 전압강하정도는 기존 상전도 케이블에 비해서 작은 것으로 나타난다. 고장전류는 CASE별로 약간의 차이가 있지만, 초전도케이블의 적용에 따른 영향이 매우 적음을 알 수 있다. 전력조류의 결과는 상전도케이블을 적용하였을 경우와 동일한 결과를 나타내고 있으므로 결과에서는 생략하였다. 본 검토 결과 기존 154kV 수용가에 154kV 초전도케이블을 적용하는 경우 기술적인 관점에서는 큰 문제가 발생하지 않았으므로 적용가능한 사례로서 판단되지만, 실제 계통적용을 위해서는 기술적인 면뿐만 아니라 경제적인 면까지 고려하여 적용가능한 특정 사례를 찾아야 한다. 또한, 현재로서는 초전도케이블의 충전용량을 충분히 활용할 만큼 큰 단일부하가 존재하지 않으며, 다 회선 선로로서 수전하는 154kV 수용가 역시 많지가 않다. 따라서, 현재시점에서는 본 사례에 적합한 특정 CASE를 찾을 가능성은 낮을 것으로 판단된다. 향후 단일 수용가로서 본 사례의 조건을 만족하는 대규모의 부하를 갖는 특정사례가 발생한다면, 초전도케이블의 적용가능성에 대한 상세 기술성 및 경제성 검토가 필요할 것으로 사료된다.

표 12 전압 및 고장전류 결과

Table 12 Voltage and fault current results

CASE	모선	전압 계급 [kV]	전압[pu]		고장전류[kA]	
			HTSC 적용 전	HTSC 적용 후	HTSC 적용 전	HTSC 적용 후
CASE-CAB-L2-1	옥인	154	1.04163	1.04042	26.40	26.39
	운니	154	1.04159	1.04040	25.00	25.69
CASE-CAB-L2-2	신길	154	1.03535	1.03463	34.66	34.66
	봉천	154	1.03489	1.03444	31.75	33.17
CASE-CAB-L2-3	신내	154	1.04025	1.03942	43.84	43.84
CASE-CAB-L2-4	중계	154	1.04014	1.03943	36.91	40.17
	성동1	154	1.04325	1.04317	53.43	53.43
	왕십리	154	1.04319	1.04314	52.68	53.05

5.3 CASE-CAB-L3

5.3.1 검토사례 도출배경

본 사례는 154kV 수용가 계통의 부하의 증가로 인해서 선로 증설이 필요한 경우, 154kV 상전도케이블과 비슷한 용량을 갖는 22.9kV 초전도케이블을 적용하는 방안이다. 22.9kV 초전도케이블을 적용하는 경우, 기존 154kV의 1공 1조 포설용 관로에 비슷한 용량의 22.9kV 초전도케이블을 1공 3조 포설할 수 있으므로 관로 활용 면과 용량증대 면에서 매우 큰 이점이 있다. 본 사례는 CASE-CAB-L2와 같은 대상에 대하여 22.9kV 초전도케이블을 적용하는 것으로서 가정을 하여 표 13과 같은 사례를 선정하였다.

표 13 CASE-CAB-L3 해석대상 CASE

Table 13 Test case for CASE-CAB-L3

초전도케이블 적용 대상선로		부하 [MVA]	해석 CASE
From	To(수용가)		
옥인	운니	31.13 MVA	CASE-CAB-L2-1
신길	봉천	105.55 MVA	CASE-CAB-L2-2
신내	중계	120.00 MVA	CASE-CAB-L2-3
성동1	왕십리	121.11 MVA	CASE-CAB-L2-4

5.3.2 해석결과 토의

154kV 수용가에 대해서 22.9kV 초전도케이블로 대체한 후의 결과를 나타내면 아래 표 14와 같다. 전체적으로 약간의 전압저하현상이 발생하며, 선로에 흐르는 전력조류량에 비례하여 전압강하문제가 심각함을 알 수 있다. 그러나, 대규모 부하가 있는 경우라고 할지라도 기존에 전압문제를 해결하기 위해서 조상설비가 투입된 경우에는 상대적으로 전압강하 정도가 적게 나타나고 있으며, 추가적인 조상설비를 투입한 결과 전압강하문제가 해소되는 결과를 얻을 수 있었다. 그러므로, 22.9kV 초전도케이블을 적용시 나타나는 전압강하문제는 조상설비를 투입함으로써 해결 가능할 것으로 판단된다. 본 사례검토 결과 154kV 말단변전소의 수전선로를 22.9kV 초전도케이블로 교체하는 경우, 기술적인 관점에서는 대체적으로 큰 문제가 없을 것으로 판단된다. 그러나 경제적인 관점에서는 검토사례별로 상세검토가 필요하다.

표 14 CASE-CAB-L3 전압 및 고장전류 결과

Table 14 Results for CASE-CAB-L3

CASE	모선	전압 계급 [kV]	전압 [pu]	
			HTSC 적용 전	HTSC 적용 후
CASE-CAB-L3-1	옥인(1490)	154	1.04163	1.03660
	운니(1435)	154	1.04159	-
	옥인221(1491)	22.9	-	1.01832
	옥인222(1492)	22.9	-	1.01832
	운니221(1435)	22.9	-	1.01538
	운니222(1436)	22.9	-	1.01538
CASE-CAB-L3-2	신길(2415)	154	1.03535	1.02989
	봉천(2745)	154	1.03489	-
	신길221(2416)	22.9	-	0.95326
	신길222(2417)	22.9	-	0.95326
	봉천221(2745)	22.9	-	0.94154
	봉천222(2744)	22.9	-	0.94154
CASE-CAB-L3-3	신내(1740)	154	1.04025	1.03407
	중계(1985)	154	1.04014	-
	신내221(1741)	22.9	-	1.00128
	신내222(1742)	22.9	-	1.00128
	중계221(1985)	22.9	-	0.99502
	중계222(1985)	22.9	-	0.99502
CASE-CAB-L3-4	성동1(1610)	154	1.04325	1.04060
	왕십리(1611)	154	1.04319	-
	성동221(1615)	22.9	-	0.95521
	성동222(1616)	22.9	-	0.95521
	왕십리21(1617)	22.9	-	0.95387
	왕십리22(1618)	22.9	-	0.95387

5.4 CASE-CAB-U1

본 사례는 전력회사의 배전계통에 대한 검토이다. 배전계통의 경우, 수용가 계통과 전력회사 계통에 큰 차이가 없다. 즉, 계통구성은 같고 단지 계통의 소유권이 민간사업자와 전력회사라는 차이가 있는 것이다. 그러므로 본 사례의 계통구성 및 초전도케이블 적용시의 계통현상은 상기 검토한 CASE-CAB-L1(10MW를 초과하는 22.9kV 수용가에 초전도케이블을 적용)과 동일하므로 상세 계통검토는 생략한다.

5.5 CASE-CAB-U2

5.5.1 검토사례 도출배경

본 사례는 한전 154kV 송전계통 내의 과부하 등으로 인해 증설이 필요한 선로에 대해서 154kV 초전도케이블로 대체하는 것이다. 송전망 내의 154kV 송전선로에서의 초전도케이블 적용개소를 선정하기 위해서 2010년 peak 계통의 선로의 과부하율이 높은 지중선로들 중 2011년 이후 선로증설 계획(1회선)이 있는 경우를 선택하였다(표 15 및 그림 5 참조). 즉, 남대전 - 신홍은 3회선으로서 (과)부하율은 2004년에 77.8%에서 2010년 98.8%이며, 2011년 이후 1회선을 증설하여 4회선으로 운전할 예정이다(한국전력 장기송변전 설비계획 참조). 이러한 경우, 선로를 증설하는 대신 기존 선로를 송전용량이 큰 초전도케이블로 교체 가능할 것으로 판단된다.

표 15 과부하율

Table 15 Overload results

선로	남대전 - 신홍 (3회선)	
조류계산데이터 (연도)	2004년 peak	2010년 peak
전력조류량 (LOADING)	153MVA × 3	194.6MVA × 3
정격용량 (RATING)	197MVA × 3	197MVA × 3
(과)부하율 (PERCENT)	77.7%	98.8%

※ 남대전 - 신홍 : 2011년 이후 1회선 추가증설 예정(한전 장기송변전 설비계획 참조)

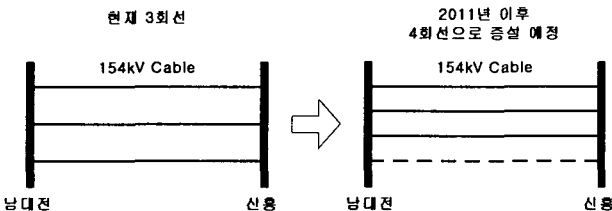


그림 5 남대전-신홍 선로증설 개념도
Fig. 5 Extension of Namdaejeon-Shinheung transmission line

5.5.2 해석결과 토의

상기 도출된 초전도케이블 적용대상 선로인 남대전-신홍의 3회선 기존선로를 154kV 초전도케이블 2회선으로 대체하는 경우의 개념도는 다음 그림과 같다. 본 사례는 154kV 송전계통에 대한 해석이므로 PSS/E 계통해석을 기본으로 하였다.

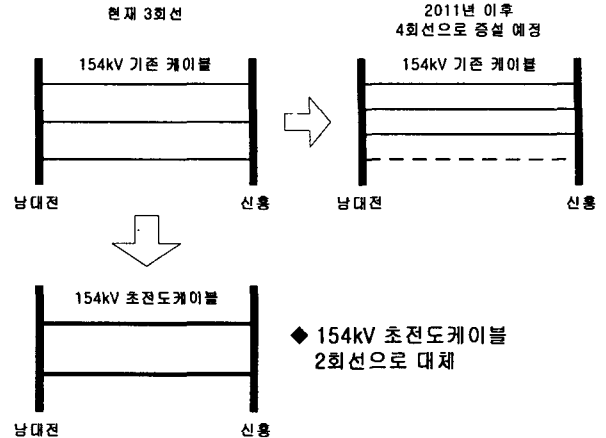


그림 6 CASE-CAB-U2 개념도
Fig. 6 Diagram for CASE-CAB-U2

이 때 적용하는 초전도케이블의 용량은 1GVA로 가정하였으며, 검토결과는 표 16과 같이 정리할 수 있다. 아래 결과에 의하면 전압은 전체적으로 약간 감소하지만, 이러한 전압강하량은 매우 적으므로 전체계통관점에서 큰 문제가 되지는 않을 것으로 판단된다. 전력조류량은 과부하율이 98.8%에서 59.1%로 되므로 선로용량 면에서 장점을 가짐을 알 수 있다. 따라서 상기 CASE의 경우는 계통적용에 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

표 16 CASE-CAB-U2 해석결과

Table 16 Results for CASE-CAB-U2

항 목	초전도케이블 적용 전		초전도케이블 적용 후	
	남대전	신홍	남대전	신홍
전압	남대전	1.02571 PU	1.02354 PU	1.02354 PU
	신홍	1.02475 PU	1.02318 PU	1.02318 PU
전력조류 (남대전 → 신홍)	유효전력	198.2 MW × 3 = 594.6 MW	300.4 MW × 2 = 600.8 MW	
	무효전력	13.9 MVAR × 3 = 41.7 MVAR	26.7 MVAR × 2 = 53.4 MVAR	
	(과)부하율	98.8 %	29.6 %	

5.6 CASE-CAB-U3

5.6.1 검토사례 도출배경

본 사례는 저압대용량 송전관점에서 기존 154kV 케이블을 22.9kV급 초전도케이블로 교체하는 경우로서, 최종적으로 기존 도심내 154kV 변전소를 22.9kV 개폐소로 전환할 수 있을 뿐만 아니라 신설 예정인 154kV 변전소를 생략할 수 있는 가능성도 제공한다. 즉, 서울과 같은 대도시의 도심내 전력설비 입지난을 해결할 수 있을 있으며, 도심내 변전소 신규건설을 위한 부지확보에 따른 비싼 땅값, 보상비 등의 절약이 가능하다. 따라서 본 사례는 초전도케이블 도입에 의한 경제적 이익이 막대할 것으로 기대되며, 기본경제성 평가결과 가장 적용가능성이 높을 것으로 예상되는 사례로 판단된다[7].

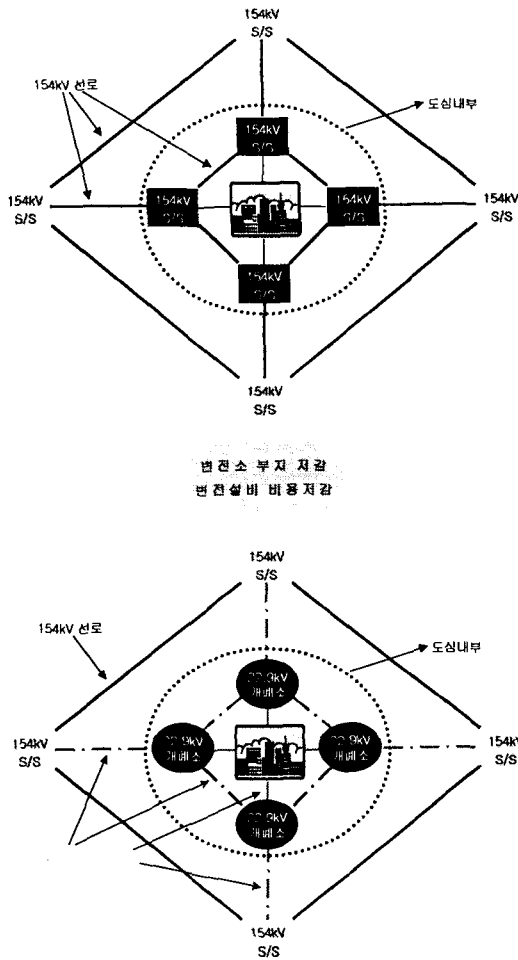


그림 7 154kV 선로를 22.9kV 초전도 선로로 대체하기 전후의 계통구성

Fig. 7 System structure before and after substituting 22.9kV HTS cable for 154kV existing cable

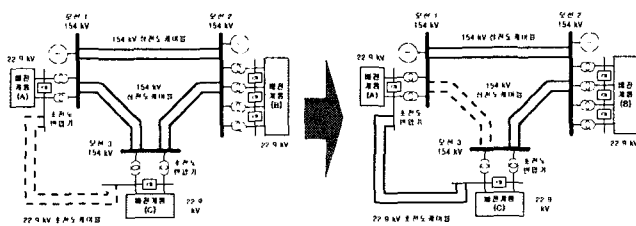


그림 8 22.9kV 초전도케이블 교체 개념도
Fig. 8 Concept of 22.9kV HTS cable substitution

5.6.2 계통구성

EMTDC 검토대상계통은 5.1절에서 구성한 EMTDC 기본계통을 대상으로 하였다. 본 사례는 154kV 기존케이블을 22.9kV 초전도케이블로 교체하는 경우이므로 위에서 구성한 기본계통에서 모선 1과 모선 3 사이의 154kV 기존케이블 대신, 22.9kV 초전도케이블을 적용하여 해석하였다. 기본데이터는 위의 기본계통 구성시 사용한 데이터를 그대로 사용하였으며, 모선 1과 모선 3 사이의 22.9kV 초전도케이블 데이터는 기 개발한 초전도케이블 모델을 이용하였다.

5.6.3 해석결과 토의

EMTDC 계통검토는 우선, 위의 그림에서 기존 154kV 상전도케이블로서 구성되어 있는 3모선계통에 대한 기본 조류해석을 한 후, 1번 모선과 3번 모선 사이에 22.9kV 초전도케이블을 적용한 후 조류해석을 수행하였다. 상세 검토결과는 다음과 같다.

표 17 초전도케이블 적용 전후 전력조류 결과

Table 17 Power flow results for CASE-CAB-U3

항목	전력조류방향 및 전원단모선	조류량 및 전력유입량 [MW]	
		BASE-CASE	CASE-CAB-U3
전력조류	1번 모선 → 2번 모선	108.7	46.8
	1번 모선 → 3번 모선	228.5	274.3
	2번 모선 → 3번 모선	119.1	298.5
전원단 전력유입량	P1 (1번 모선)	574.5	554.8
	P2 (2번 모선)	129.1	143.3

주) BASE-CASE : 초전도케이블 적용 전
CASE-CAB-U3 : 22.9kV 초전도케이블 적용 후

표 18 초전도케이블 적용 전후 전압결과

Table 18 Voltage results for CASE-CAB-U3

전압계급 [kV]	모선	전압 [kV]		전압 [pu]	
		BASE-CASE	CASE-CAB-U3	BASE-CASE	CASE-CAB-U3
154	VS1	156.300	155.038	1.014935	1.00674
	VS2	156.324	154.802	1.015091	1.005208
	VS3	155.789	153.752	1.011617	0.99839
22.9	VL1	22.534	22.190	0.984017	0.968996
	VL2	22.471	22.245	0.981266	0.971397
	VL3	22.049	21.944	0.962838	0.958253

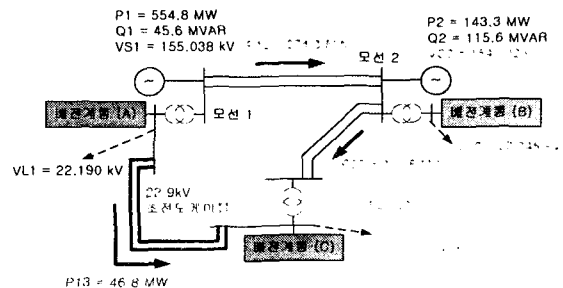
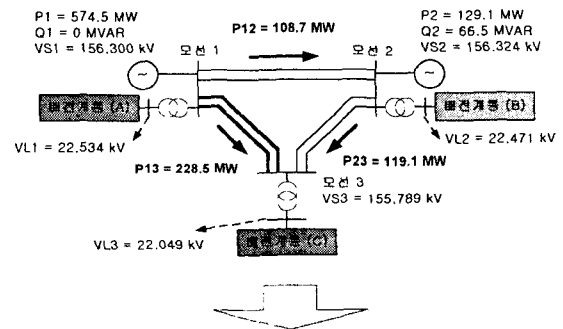


그림 9 CASE-CAB-U3 해석결과 요약
Fig. 9 Analysis results summary for CASE-CAB-U3

위의 결과에서 154kV 상전도케이블을 22.9kV 초전도케이블로 교체하는 경우, 초전도케이블로 전력조류가 적게 흐름을 확인할 수 있다. 전력조류는 선로임피던스 및 전압계급에 따라서 결정되는데, 22.9kV 초전도케이블의 자체용량은 크지만 전압계급 및 선로임피던스가 기존 154kV 상전도케이블과 비교했을 때 큰 차이가 있기 때문에 22.9kV 케이블의 전력조류가 적게 흐르는 것이다. 22.9kV 초전도케이블로 전력이 적게 흐름에 따라서 나머지 조류가 주변의 선로로 우회하여 흐르기 때문에 기타 선로에서 과부하가 발생하게 된다. 이러한 문제는 특정개소에 국한되는 것이 아닌 일반적인 현상으로써 본 사례의 실계통 적용시 반드시 해결해야 할 사항이다. 즉, 송전계통망 내에서 154kV 상전도케이블을 22.9kV 초전도케이블로 교체하는 경우, 조류배분문제 및 과부하문제가 발생할 가능성이 있으며, 실계통 적용시 이러한 문제가 발생하지 않는 특수개소를 탐색하거나 기타 대안을 제시할 필요성이 있다.

6. 초전도케이블 개발관련 제안사항

6.1 22.9kV 초전도케이블

위의 적용대안은 어떠한 적용형태이든 기본적으로 22.9kV 혹은 154kV 지중선로를 22kV급 초전도 케이블로 대체하는 경우인데, 아래와 같은 사항을 고려해야 할 것으로 사료된다.

- (22kV급 초전도 케이블 용량) 22kV급 초전도 케이블의 용량을 현재 국내에서 개발 중인 50MW로 했을 경우 기존 22.9kV 선로를 대체하는 데는 문제가 없을 것으로 판단된다. 그러나 현재 154kV에 적용하는 OF 혹은 CV 2000[mm²] 지중선로의 용량은 200MW 내외인 것을 고려할 때 154kV 지중선로 1회선을 4회선 정도의 22kV급 초전도 케이블로 대체하는 개념이므로 154kV 선로 대체를 위한 22kV급 초전도 케이블 용량은 최소한 200MW 이상으로 증대할 필요성이 있다고 판단된다. 기술적으로 22kV급 초전도 케이블을 200MW 이상으로 개발하는 것은 초전도 선재 자체의 전류용량 관점에서 문제가 없을 것으로 생각된다. (22.9kV 200MW 5.04kA) 따라서, 향후 22kV급 초전도 케이블의 개발방향은 아래와 같이 크게 154kV 대체를 위한 송전급 배전선로 및 22.9kV 대체를 위한 배전용 선로 개발로 나누어 진행할 것을 제안한다.
 - ① (기존 22.9kV선로 대체를 위한 22kV급 초전도 케이블)은 송전용량을 50MW 정도로 하여 개발한다.
 - ② (기존 154kV선로 대체를 위한 22kV급 초전도 케이블)은 송전용량을 200MW 내외로 하여 개발한다.
- (초전도 변압기 및 케이블 동시 적용 가능성) 22kV급 초전도 케이블을 적용하는 경우 용량이 기존 상전도 케이블 보다 최소 수 배 이상 커지므로 154/22.9kV 변압기의 용량을 증대시켜야 한다. 즉, 기존 154kV 변압기는 45/60(MVA)가 대표적인데, 22.9kV, 100MW급 이

상의 초전도 케이블을 적용하는 경우 변압기도 이에 따라 변경되어야 한다. 이 점은 용량이 큰 초전도 변압기와 초전도 케이블을 동시에 적용하는 관점도 생각해 봐야 함을 의미하며, 이는 초전도 변압기와 초전도 케이블 나아가서는 필요시 초전도 한류기의 동시적용을 하는 경우에는 냉각설비의 유효활용 측면에서도 많은 장점을 가지게 될 것으로 판단된다. 즉, 초전도기기의 장점을 충분히 활용함과 동시에 초전도기기 적용의 경제성을 높이는 효과도 가져다준다.

6.2 154kV 초전도케이블

기술적 측면에서 살펴본 결과, 154kV 초전도케이블 역시 22.9kV 초전도케이블과 마찬가지로 수용가계통 및 송전계통에 적용 가능할 것으로 보인다. 이러한 결과를 바탕으로 154kV 초전도케이블 개발에 관한 제안사항은 다음과 같다.

- (154kV 초전도케이블 용량) 현재 국내에서 개발 중인 154kV 초전도케이블 용량은 0.5 ~ 1GW이다. 이는 154kV 기존케이블을 154kV 초전도케이블로 대체하는 경우, 용량측면에서 큰 문제가 없을 것으로 판단된다. 단, 각 용량별 적용개소로서 0.5GW는 국내 대규모 수용가계통에 적합할 것으로 보이며, 1GW는 송전계통 내에서 기존의 다회선 선로를 초전도케이블 1회선으로 대체하는 경우 적합할 것으로 사료된다. 또한, 장기적 관점에서 보면, 22.9kV 초전도케이블과 마찬가지로 154kV 초전도케이블의 345kV 도심선로 대체가능성이 있을 것으로 예상된다. 이러한 경우를 고려한다면, 향후 1GW 이상의 154kV 초전도케이블 개발이 필요할 것으로 판단된다. 154kV 초전도케이블 개발관련 제안사항을 요약하면 다음과 같다.

- ① (154kV 대규모 수용가계통 적용을 위한 154kV 초전도케이블 용량)은 0.5GW 정도로 개발한다.
- ② (송전계통 내 기존 154kV 선로 대체용 154kV 초전도케이블 용량)은 1GW 정도로 개발한다.
- ③ (345kV 선로 대체용 154kV 초전도케이블 용량)은 1GW 이상으로 개발한다.

7. 결 론

본 연구에서는 국내 22.9kV 및 154kV 계통에서 초전도케이블의 적용가능성을 판단하기 위해서 계통적용가능 사례를 도출한 후, 각 사례에 대해서 기본계통해석을 수행하여 적용가능성을 판단하였으며, 나아가서 초전도케이블 개발관련 제안사항을 제시하였다. 본 연구에서 도출된 연구결론을 요약하면 다음과 같다.

- 사례별 계통검토결과 대부분의 경우, 계통관점에서 국내 22.9kV 및 154kV 초전도케이블 적용은 충분한 가능성을 가질 것으로 판단된다. 물론 일부 적용사례에서 전압저하 등의 기술적 문제가 다소 발생할 여지도 있지만, 이는 현재 기술로서 충분히 극복 가능할 것으로

로 보인다. 본 연구에서 도출된 적용사례는 일부 비현실적인 가정이 존재하므로, 향후 초전도케이블의 적용 필요성이 있는 특정 개소의 도출을 위한 상세 연구가 선행되어야 한다.

- 적용사례 중 경제적 측면에서 적용가능성이 가장 높은 것은 CASE-CAB-U3(154kV 기존케이블을 22.9kV 초전도케이블로 교체)로서, 기존 관로 활용 측면 및 용량증대 효과뿐만 아니라 기타 여러 가지 경제적인 이점이 매우 크기 때문에 도입필요성이 높을 것으로 사료된다. 그러나 기술적 관점에서 조류배분의 문제가 발생할 소지가 있으므로 이에 대한 대책방안 수립이 필수적이다. 한 가지 대안으로서 우선 수용가 및 말단 부하계통에서부터 적용하고, 차츰 도심의 154kV 기존케이블을 22.9kV 초전도케이블로 교체하는 방안을 모색할 수 있다.
- 본 연구결과를 통하여 초전도케이블 개발관련 제안사항을 제시할 수 있었다. 즉, 초전도케이블 개발시 각각의 적용개소 및 용도에 따라서 22.9kV급은 50MW/200MW, 154kV급은 0.5GW/1GW/1GW이상의 용량으로 구분하여 개발할 필요성이 있다.
- 본 연구는 초전도케이블의 계통적용을 위한 최종결론이라기 보다는, 단지 기술적 관점에서 검토한 기본연구 성격을 가지며, 향후 초전도케이블의 실계통 적용을 위해서는 좀 더 구체적인 적용대상의 도출과 이에 대하여 다양한 관점에서의 심도깊은 연구가 필요하다. 또한, 실계통에서 초전도케이블 도입을 위해서는 기술성 관점 연구뿐만 아니라 상세 경제성 검토도 병행되어야 할 것이다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

- [1] 산업자원부, “제1차 전력수급기본계획(2002년~2015년)”, 2002. 8.
- [2] 한국전력공사, 송변전사업본부, 계통계획실, “2002년 장기 송변전 건설계획(2002년~2015년)”, 2002. 12.
- [3] 한국전력거래소, 계통기술처, “2002년 전력계통 설비정수 종합표”, 2002. 6.
- [4] Ladie Pieluigi, Mansoldo Andre “HTS Cable application studies and technical/economical comparisons with conventional technologies”, PES-WM 2002.
- [5] Richard Silbergliitt, Emile Ettetdgui, Anders Hove “Strengthening the Grid : Effect of High Temperature Superconducting Power Technologies on Reliability, Power Transfer Capacity and Energy” RAND, 2002.
- [6] Jae-Young Yoon, Jong Yul Kim, Seung-Ryul Lee “Conceptual application methodology of 22.9kV HTS cable in metropolitan city of Republic of Korea”, Journal of the Korea Institute of Applied Superconductivity and Cryogenics, Vol.6, No.2, pp.15-19, 2004.
- [7] 김종율, 이승렬, 윤재영, “Life-Cycle 비용을 고려한 초전도 케이블 시장진입 가격”, 전기학회논문지, 제53A권 제10호, 2004. 10

저 자 소 개



이 승 렬 (李昇烈)

1975년 9월 23일생. 1999년 고려대학교 전기공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 동 대학원 전기공학과 박사과정수료. 2003년~현재 한국전기연구원 전력연구단 신전력시스템연구그룹(연구원)

Tel : 055-280-1358

Fax : 055-280-1390

E-mail : srlee@keri.re.kr



김 종 율 (金鍾律)

1974년 7월 6일생. 1997년 부산대학교 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년~현재 한국전기연구원 전력연구단 신전력시스템연구그룹(연구원)

Tel : 055-280-1336

Fax : 055-280-1390

E-mail : jykim@keri.re.kr



윤 재 영 (尹在暎)

1962년 7월 30일생. 1985년 부산대학교 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 기술사(발송배전). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)/ 1987년~현재 한국전기연구원 전력연구단 신전력시스템연구그룹장(책임연구원)

Tel : 055-280-1316

Fax : 055-280-1390

E-mail : jyyoon@keri.re.kr