

초전도 케이블 계통 적용을 위한 계통 구성 방안 및 적용 대상 고찰

A Study on the Introduction of Superconducting Cable in Korean Power System

김종율*, 윤재영**, 이승렬***

Jong Yul Kim*, Jae-Young Yoon**, Seung Ryul Lee***,

Abstract: Nowadays, 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 cable has the several useful characteristics such as increased power density, stronger magnetic fields and/or reduced losses. 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 HTS cable to korean power system is carried out and then we propose the new power system configuration of metropolitan area with HTS cable. Finally, we can get a conclusion that applying HTS cable to 154kV underground transmission line in metropolitan area such as seoul is very available. In addition, detail applicable cases are investigated; a)replace old conventional cable with HTS cable; b)apply HTS cable to constructing new underground transmission line; c)use HTS cable to resolve overload problem in conventional power system configuration.

Key Words: HTS cable, underground transmission system, feasibility

1. 서 론

최근 들어 세계적으로 에너지 수요가 증가하는 추세에서 세계 각국에서는 전력에너지의 증가 패턴에 큰 관심을 기울이고 있다. 특히 한국의 경우 산업의 지속적인 성장에 따라 전력수요는 해마다 꾸준히 증가할 것으로 예측하고 있으며 따라서 2020년의 전력수요는 425,600GWH로 현재의 1.7배 이상 증가할 것으로 판단된다. 한편 전 세계적으로 대도시 중심부의 전력공급은 경관의 향상 및 지상공간의 확보 곤란으로 인해 지하 송전선이 주류를 이루고 있으며 도심내의 전력공급

선로의 확충을 위해 지중 송전선 건설의 필요성이 제고되고 있다. 그러나 대도심의 경우 빌딩의 집중, 도시 기능의 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 도모할려고 하여도 지중 케이블의 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 경감 시킬 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]

본 논문에서는 초전도 케이블의 계통 적용을 위해 현재 전력계통의 현황 및 향후 전망에 대한 분석을 통하여 기본적인 초전도 케이블 적용 계통 구성 방안을 수립하고 이와 더불어 실제 적용 가능한 대상 도출 및 그 타당성을 검토하였다.

2. 전력계통 현황 및 전망

우리나라 전력계통은 타 국가와 전력용통이 불가능한 단독계통(Island System)으로 전력수요 분포가 수도권에 매우 집중되어 있으며 발전소의 위치가 중,남부 지역에 편재하여 지역간 대전력 수송체계가 필요한 만큼 송변전설비의 역할은 매우 중요하다고 할 수 있다. 또한 국토가 협소한 지리적 특성상 송전선로 경과지 또는 변전소 입지 확보가 매우 어려운 상황이다. 따라서 우리나라 전력계통 특성 및 현황을 적절히 검토, 활용하여 효율적인 전력설비의 투자 및 운영이 꼭 필요할 것으로 생각된다.

2.1. 장기 전력 수급 전망

* 비회원: 한국전기연구원 연구원

** 정회원: 한국전기연구원 책임연구원

*** 비회원: 한국전기연구원 연구원

원고접수: 2003년 1월 30일

심사완료: 2003년 8월 21일

우리나라 향후 연도별 전력수급 현황 일부인 2000년, 2005년, 2010년 전력수급 현황을 살펴보면 표 1과 같다. 국민 생활수준 향상과 경제 성장으로 인해 전력 수요는 2000년부터 2010년까지 매년 평균 4~5% 정도 증가하여 2010년에는 약 6만 MW정도로서 2000년 최대수요 4만 MW 대비 약 150%의 성장을 나타낼 전망이다. 표 2와 그림 1에서는 2010년 지역별 최대부하 및 부하점유율을 나타내고 있는데 우리나라의 경우 지역별 부하 편중현상이 매우 두드러지는 것을 알 수 있다.[4]

따라서 이러한 상황에서 전력수요에 원활히 대응하고 높은 공급신뢰도를 유지하기 위해서는 발전설비의 확충뿐만 아니라 송배전설비 및 변전설비의 적절한 신증설 또한 매우 중요한 문제라고 할 수 있다.

표 1. 연도별 전력수급 현황

Table 1. Generation and Demand in 2000, 2005, 2010

년도	2000년	2005년	2010년
최대수요[MW]	41,010	52,624	60,975
발전설비용량 [MW]	48,451	60,394	71,413

표 2. 5대 지역별 최대 수요 추이

Table 2. Trend of Areal Peak Demand in 2010

년도	수도권	영동권	중부권	호남권	영남권	합계 [MW]
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

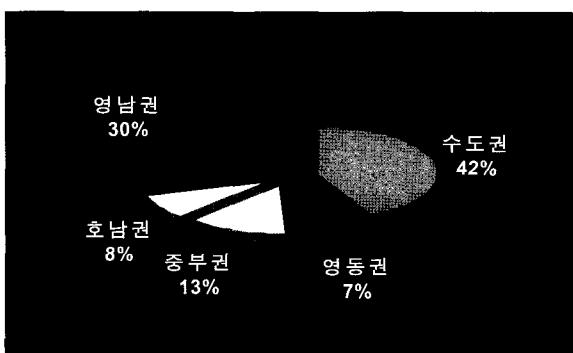


그림 1. 2010년 지역별 최대 수요 점유율

Fig. 1. Areal Peak Demand in 2010

2010년경의 지역별 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 수도권이 전체 대비 약 40% 이상을 차지하고 있어 부하 밀도가 매우 높은 지역임을 알 수 있다.

2.2 송전선로 현황

우리나라 송전 계통의 전압 계급은 크게 765kV, 345kV, 154kV로 구분되어 있으며 전압별 역할 분담은 다음과 같다.[5]

○ 765kV 설비

- 대단위 전원단지와 최대 수요지(수도권) 직접연결
- 수도권 배후 대전력 공급원 역할

○ 345kV 설비

- 지역간 간선계통의 주축 유지
- 대도시의 도심지 전력 공급원 역할
- 4,000MW 미만 전원단지 계통 연결

○ 154kV 설비

- 지방도시의 간선계통 구성
- 1,000MW 미만 소규모 발전소 연결
- 66kV의 단계적 154kV 승압

표 3에서는 우리나라 송전선로의 전압 계급별 선로 길이 및 구성 비율 추이를 나타내고 있다. 송전선로 총 길이는 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.

표 3. 송전선로 현황 [C-Km]

Table 3. Status of Transmission Line

전압	2000년		2005년		2010년	
	회선 길이	구성 비율(%)	회선 길이	구성 비율(%)	회선 길이	구성 비율(%)
765kV	595	2	774	3	1,193	4
345kV	7,281	30	8,369	28	8,944	27
154kV	16,747	68	20,475	69	22,453	69
합계	24,623	100	29,618	100	32,590	100

2.3 지중 송전선로 현황

지역별 송전선로 지중화율 및 전압계급별 지중화 정도를 검토한 결과 전압계급별로는 현재 345kV 및 154kV 송전선로에 대해 적용을 하고 있으며 765kV 송전선로에는 아직 사용되지 않고 있다.

표 4는 2000년 기준 우리나라 지역별 지중 선로의 현황을 나타내고 있으며 표에서 나타나는 바와 같이 전체 송전선로의 약 5% 정도가 지중선로로 구성되어 있다.[6]

○ 지역별로는 서울, 부산, 인천, 대구, 대전, 광주와 같은 대도시의 지중화율이 높은 반면 지방도시의 경우 지중화율이 매우 낮음을 알 수 있다. 특히, 서울과 같은 부하 밀집지역의 경우 지중화율이 약 74%로서 타 대도시에 비해서도 월등히 높은 비율을 나타내고 있다.

○ 이는 서울 같은 대도시의 경우 부하 밀도가 높은데 반해 경과지 및 환경문제로 인해 도심내로 가공 송전선로를 설치하는 것이 현실적으로 거의 불가능하기 때문이다. 따라서 이러한 대도시의 경우 도심내로 전력을 공급하기 위해서는 선로의 지중화가 불가피하며 이러한 추세는 향후 더욱 심각해 질 것으로 예상된다.

표 5에서는 지중선로의 전압 계급별 지중화율을 나타내고 있는데 전체 지중 선로 중 대부분인 92% 정도

를 154kV 선로가 주종을 이루고 있다. 이는 우리나라 계통구성이 345kV 송전선로의 경우 대도시의 도심지 전력 공급을 위해 비교적 경과지 확보가 용이한 대도시 외곽까지는 가공 선로를 주로 이용하고 도심지내로의 전력 공급은 154kV 지중선로를 이용하기 때문이다. 따라서 초전도 케이블 적용은 가장 많은 부분을 차지하고 있는 154kV 지중선로에 적용하는 것이 바람직 할 것이다.

표 4. 지중선로 현황

Table 4. Status of Underground Transmission Line

행정 구역	구분 (C-km)			지중화율 (%)
	가공	지중	계	
서울	177.544	503.211	680.755	73.9
부산	478.502	205.558	684.060	30.0
인천	274.724	103.959	378.683	27.5
대구	407.123	81.440	488.563	16.7
대전	331.958	56.460	388.418	14.5
광주	207.833	43.568	251.401	17.3
울산	660.177	5.978	666.155	0.9
경기	3,471.084	166.088	3,637.172	4.6
강원	2,813.305	0.346	2,813.651	0.0
충북	1,804.523	-	1,804.523	-
충남	2,625.541	1.910	2,627.451	0.1
전북	1,822.297	36.818	1,859.115	2.0
전남	2,464.954	4.777	2,469.731	0.2
경북	3,308.058	2.055	3,310.113	0.1
경남	2,710.254	28.062	2,738.316	1.0
제주	515.432	8.123	523.555	1.6
계	24,073.309	1,248.353	25,321.662	4.9

표 5. 지중 선로의 전압 계급별 현황

Table 5. Status of Voltage Class in Underground Transmission Line

전 압	선로 긍장 [c-km]	비율(%)
345kV	93	7
154kV	1,143	92
66kV	13	1
계	1,249	100

현재 지중 송전선로에 사용되고 있는 케이블의 선종은 크게 OF, XLPE(CV), POF가 있으며 선종에 따른 선로 현황은 표 6과 같다. 345kV 지중선로의 경우는 모두 OF 케이블을 사용하고 있으며 지중선로의 대부분을 차지하는 154kV 경우는 OF 케이블 약 58%, XLPE(CV) 케이블이 41% 그리고 POF 케이블이 나머지를 차지하고 있다. 90년대 이전에 건설된 154kV 지중선로는 대체로 오일을 통해 케이블 냉각을 하는 OF 케이블을 주로 사용하였지만 최근에는 별도의 냉각장치가 필요 없는 XLPE(CV) 케이블이 적용되고 있다.

따라서 현재의 구성비율이 OF 케이블이 가장 크기는 하지만 향후 새로이 건설 또는 교체되는 154kV 지중선로는 XLPE(CV) 케이블로 사용될 전망이다.

표 6 케이블 선종에 따른 지중선로 현황 [C-Km]

Table 6. A Sort of Underground Transmission Line

전압	OF	XLPE	POF	계
345kV	93	-	-	93
154kV	658	464	21	1,143
66kV	3	10	-	13
계	754	474	21	1,249

표 7은 선로 포설 방식에 따른 현황에 대하여 조사한 결과이다. 345kV 선로의 경우 모두 개착식 또는 터널식 포설 방식을 사용하고 있으며 154kV 경우는 관로식이 전체 회선 길이의 62%를 나타내고 있으나 전력수요 증가로 인한 회선 증가, 경과지 확보 등의 이유로 앞으로는 전력구방식도 많이 적용될 것으로 보인다. 직매식의 경우 아주 짧은 구간에서 적용되어 있는데 이는 예전에 사용했던 방식으로 현재는 직매 방식을 적용하고 있지 않다.

표 7. 선로 포설 방식에 따른 선로 현황 [C-Km]

Table 7. Status of Installation Method in Underground Transmission Line

전압	회선 길이	직매	관로	전력구			해저
				개착	터널	계	
345kV	93	-	-	33	60	93	-
154kV	1,143	6	705	332	100	432	-
66kV	13	1	9	0.5	-	0.5	2.5
계	1,249	7	714	365.5	160	525.5	2.5

2.4 지중 선로 지중화 추이

앞서 검토한 바와 같이 현재 전체 송전선로의 지중화 비율은 현재 약 5% 수준이고 지중 선로의 대부분을 차지하는 154kV 선로의 경우도 역시 7% 수준으로 그리 높지 않은 상황이다. 그러나 가공 송전선로의 경과지 확보가 점점 더 어려워지고 환경에 대한 관심이 증대되는 사회적인 추세에서 송전선로의 지중화가 점점 더 확대될 것으로 보인다. 표 8에서는 154kV 송전 선로 중 지중선로 긍장과 점유율 추이를 나타내고 있다.[5]

표 8. 154kV 송전선로 중 지중선로의 긍장 및 점유율 [누계C-Km]

Table 8. Status of 154kV Underground Transmission Line

구 분	2000년	2005년	2010년
총 송전 선로 긍장	16,747	20,475	22,453
지중 선로 긍장	1,143	2,207	2,599
점유율(%)	6.8	10.8	11.6

2000년 기준으로 154kV 송전 선로 중 지중화 선로는 전체의 약 7%정도를 차지하고 있으며 앞서 검토한 바와 같이 이들 선로는 대체로 대도시를 위주로 설치

된 선로들로서 경과지 확보의 곤란 등의 이유로 가공선로 보다는 지중 선로로 건설한 경우이다.

향후에는 이러한 가공선로 경과지 및 친환경적인 설비 건설 확대 방안으로 인해 2010년에는 전체 154kV 송전 선로의 11% 정도까지 확대될 전망이고 특히 서울과 같은 대도심의 경우는 송전선로 지중화의 요구가 더욱 클 것으로 기대된다.

3. 초전도 케이블 적용 계통 구성 방안

앞선 내용의 전력계통 현황 및 전망을 통하여 송전 시스템에서 지중케이블의 역할 및 필요성을 도출할 수 있었다. 또한 초전도 케이블 적용을 위해 적절한 전압 계급과 적용 대상 등에 대하여 개략적인 검토를 통해 잠정적인 결론을 도출하였다. 또한 잠정 도출된 결론을 바탕으로 초전도 케이블 계통 적용 가능 시나리오를 구성해 보았으며 상세한 내용은 다음과 같다.

○ 1998년 외환위기로 인해 일시적인 정체를 보였던 전력수요는 향후 경제성장과 국민 생활수준 향상으로 인하여 지속적인 증가가 이루어 질것으로 보인다. 따라서, 이러한 전력 수요 증가에 원활히 대응하고 신뢰도 높은 전력공급을 위해서 발전 및 송배전 설비들의 꾸준한 확충 역시 꼭 필요할 것이다.

○ 송전선로에 있어서도 765kV 선로의 확대와 더불어 154kV 및 345kV 선로의 꾸준한 증가가 예상된다.

○ 현재 지중선로 비율은 전체 송전선로의 약 5%를 차지하고 있으며 지역별로는 서울, 부산, 인천, 대구, 대전, 광주 같은 대도시 집중적으로 설치되어 있다. 또한 전압 계급별로는 154kV 지중선로가 대부분을 구성하고 있는 상황이다. 이는 대도시의 도심내 전력공급이 경과지 확보 및 환경적인 문제로 인하여 가공선로 보다는 154kV 지중선로를 이용하는 경향이 나타나고 있다.

○ 케이블 선종에 따른 분포는 154kV 경우 예전에는 OF 케이블을 많이 사용하였지만 최근에는 XLPE(CV) 케이블이 주로 사용되고 있다.

○ 포설 방식에 따른 분포는 154kV 경우 관로식이 전체의 60% 이상을 차지하고 있지만 다회선 포설이 가능한 전력구 방식도 병행하여 사용되고 있다.

○ 송전선로 지중화의 경우 송전선로 경과지 확보 문제 및 친환경적 관점에서 매우 좋은 방안으로 예상되지만 송전선 지중화에 따라 단위 설비 당 투자비가 급증하는 문제를 안고 있다. (지중선 건설비 : 가공선의 10~20배)

○ 따라서, 송전설비 투자의 효율성을 높이고 경제적인 전력계통 운용을 위해서는 다음과 같은 사항을 고려해야 할 것이다.

- 과부하 선로 전선 교체(기존 선로 최대한 활용)
- 지역여건에 맞는 지중선로 관로형태 선택
- 전력손실 최소화

위의 사항들을 고려해 볼 때, 우리나라 계통에의 초전도 케이블 적용은 전압계급 154kV의 서울 및 기타 대도시의 지중선로에 적용하는 것이 송전설비 투자의

효율성과 경제적 계통 운영측면에서 바람직한 방향이라고 판단된다. 이러한 내용을 바탕으로 초전도 케이블 적용 계통 구성 방안은 다음과 같고 이를 그림으로 표현하면 그림 2와 같다.

초전도 케이블 적용 계통 구성 방안

○ 서울과 같은 대도심 외곽에 위치한 345kV 변전소로 부터 도심근처까지의 송전선로는 가공선로를 이용하여 전력을 공급한다.

○ 도심 근처에서부터 도심 중심지 부근까지는 상전도 케이블을 이용한 지중선로로 구성한다.

○ 대도심 내의 부하 밀집 지역으로의 전력공급은 초전도 케이블을 이용한 지중선로를 통하여 이루어진다.

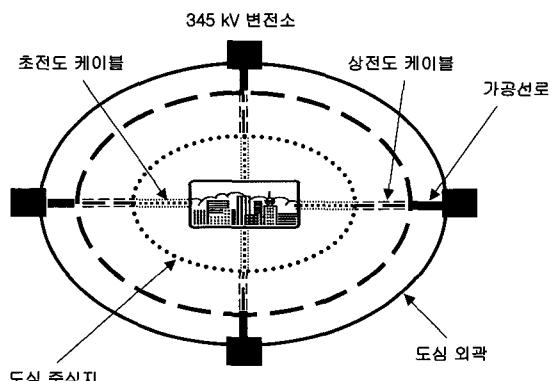


그림 2. 초전도 케이블 적용 계통 구성 방안

Fig. 2. Configuration of metropolitan network with HTS cable

그림 2와 같이 초전도 케이블을 사용하여 계통을 구성할 경우 부하 밀도가 상대적으로 높은 대도심 중심부의 부하가 급증할 경우 관로 및 전력구의 증설 또는 신설 없이 기존 관로 및 전력구를 그대로 사용하고 기존에 설치되어 케이블만을 초전도 케이블로 교체하여 전력을 공급할 수 있으므로 경제적 효과는 물론 도심 내 송전선로 입지문제를 고려할 때 이는 매우 큰 이점이라 할 수 있다.

4. 초전도 케이블 적용 대상 고찰

앞선 2절에서는 초전도 케이블 적용 계통 구성 방안에 대하여 서술하였다. 이는 초전도 케이블의 계통 적용을 위한 개략적 방안을 제시하였다고 볼 수 있으며 본 절에서는 보다 구체적인 적용 가능 대상을 도출하고 이들의 적용 가능 여부를 검토하였다. 초전도 케이블 적용 가능 대상은 크게 세 가지 경우로 생각할 수 있으며 이들에 대한 상세한 내용은 아래에서 기술하고 있다.

4.1 노후 케이블 교체시 초전도 케이블 적용

154kV 지중선로의 현황 및 준공년도를 살펴보면 우리나라 지중선로는 대체로 1970년대 서울지역에 대부분 설치되어 있고 그 후 80~90년대를 거치는 동안 서울 및 기타 대도시에 적용 되었으며 선종은 OF 케이블이 규격은 $600mm^2$ 과 $1200mm^2$ 이 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 50~60년 정도이고 실제 수명은 그보다는 다소 적을 것으로 가정하면 154kV급 초전도 케이블이 상용화되는 2010년경에는 1990년대 이전에 설치된 이들 선로의 교체 검토가 필요할 것으로 보인다.

지역별로는 그림 3에서와 같이 서울지역이 54회선, 부산지역 22회선으로 대부분을 차지하고 있고 그 외 수원 9회선, 대구 5회선, 광주 및 제주 각 1회선으로 조사되었다.[6]

따라서 향후 초전도 케이블이 기존 케이블 노후 교체로서 적용된다면 이들 서울 및 부산 지역이 주 대상 지역이 될 것으로 보인다.

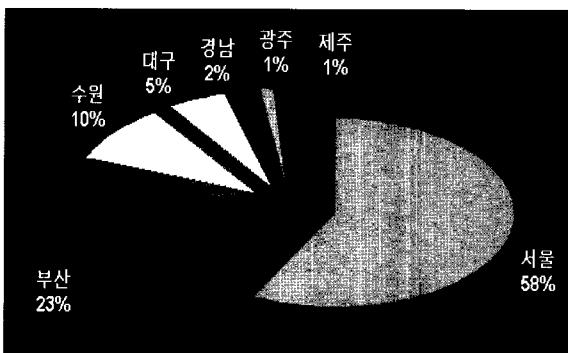


그림 3. 지역별 1990년 이전 설치 154kV 분포
Fig. 3. Status of Underground Transmission Line installed before 1990s

이처럼 기존 케이블 수명이 완료되는 선로의 교체시 초전도 케이블을 적용한다면 기존 케이블 선로에 비해 송전손실 저감 및 향후 부하 증가에 따른 추가 투자비용 회피 효과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

4.2 신규 송전선로 건설시 적용 방안

초전도 케이블은 기존 케이블 대비 약 3~4배 정도 큰 송전용량을 가지고 있다. 따라서 기존 케이블에 비해 적은 회선으로 보다 큰 전력공급이 가능한데 이를테면 기존 케이블로 3 또는 4회선 송전선로를 건설한다고 하면 초전도 케이블 2회선으로 기존 케이블 보다 많은 전력을 공급할 수 있게 되어 선로 건설비용을 줄일 수 있는 것은 물론 향후 부하 증가에 따른 추가 건설비용 회피 효과를 기대할 수 있다. 표 6에서는 2010년경 수도권 154kV 지중선로 신규 건설 계획을 나타내고 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 전망이며 부하 증가에 따른 회선당 송전용량 증가에 따라 $1200mm^2$ 보다는 $2000mm^2$ 케이블의 사용이 많음을 알 수 있다.[5]

따라서, 초전도 케이블을 이용 신규 2회선 선로를 건설한다면 기존 케이블 2회선 선로를 설치할 경우에 비해 회선당 송전용량이 3배 이상 많으므로 향후 부하 증가에 따른 선로 증설 요구시 추가 건설비용이 들지 않는 장점이 있다. 1회선 신규 선로의 경우도 2회선 선로와 동일한 효과를 기대할 수 있으나 말단 선로와

같은 경우에는 전력공급 신뢰도 문제가 발생할 수 있으므로 이에 대한 검토를 사전에 수행하여 적용 여부를 결정해야 할 것으로 생각된다.

표 6. 2010년경 154kV 지중선로 신규 건설 계획

Table 6. Construction Plan of 154kV Underground Transmission Line in 2010

전력 관리처명	선로명	선 종	규격 [mm ²]	회선	공장[Km]
서울전력	중부-마포	XLPE	2000	1	6.0
	마포-공덕	XLPE	2000	2	1.0
	미금-휘경	XLPE	2000	2	5.0
	성동-한남	XLPE	2000	2	3.0
남서울 전력	천호-고덕	XLPE	2000	2	2.0
	수진-성남2	XLPE	2000	2	2.0
	대치2-도곡	XLPE	1200	2	1.5
	교대-동작	XLPE	2000	2	2.0
	신정-화곡2	XLPE	1200	2	2.0
	영서-신길	XLPE	2000	2	7.0
	신양재-선릉	XLPE	2000	2	5.0

4.3 부하증가로 인한 송전선로 증설시 적용 방안

앞서 언급한바와 같이 1998년 외환위기 이후 우리나라 평균 전력 증가율은 4~5%정도로서 2010년까지 매년 꾸준한 성장을 예상하고 있다. 특히 수도권 지역은 전체 부하 중 약 40% 이상을 차지하는 부하 밀집지역이며 도심내의 가공선로 건설은 경과지 확보난 등으로 사실상 불가능하여 지중선로의 이용이 불가피하다. 아울러 도심내의 지중선로 건설 작업시 주민들의 부정적 시각과 과도한 보상비 소요와 같은 상황에서 부하 증가에 따른 선로 증설시 기존 관로 및 전력구를 최대한 활용하는 것이 필요하다. 그러나 일부 선로의 경우 기존 관로나 전력구 규모에 따라 선로를 증설할 여유가 없을 경우가 있는데 이로 인해 추가로 기존관로에 선로 증설을 위한 관로 추가 공사를 수행하여야 한다. 이 경우 막대한 토목공사비가 소요되므로 추가적인 토목공사 필요 없이 기존 관로를 최대한 이용할 수 있는 초전도 케이블의 적용은 매우 좋은 대안의 하나라고 판단된다.

먼저 2010년 한전테이터에 근거하여 증설이 필요한 지중선로를 조사하여 보았다. 선로 증설 판단 기준은 표 7의 한전 154kV 송변전 설비 증설 기준을 사용하였는데 이는 (N-1) 상정사고시 건전 선로의 과부하 여부를 기준으로 증설 여부를 결정하는 것이다.

표 7. 한전 154kV 송변전 설비 증설 기준

Table 7. Standard of KEPCO about Installing additional equipment

설비	상정사고	대상	증설조건
송전선로	1회선 사고	건전 선로 용량	100% 초과
변압기	1Bank 사고	건전 Bank 용량	100%초과

PSS/E 프로그램을 이용한 선로 증설 여부 검토 절차는 그림 4와 같다. 먼저 원하는 PSS/E 계통 데이터를 입력한 후 전체 154kV 지중선로 중 하나의 선로를 선택한다. 그 선로의 1회선 상정사고를 모의한 후 뉴턴 램프법에 의한 조류 계산을 수행한다. 조류 계산 결과를 토대로 건전선로 과부하 여부를 판단하고 다음 선로에 대해 역시 동일한 과정을 반복한다. 모든 154kV 지중선로에 대하여 검토가 끝나면 이 과정을 종료한다.

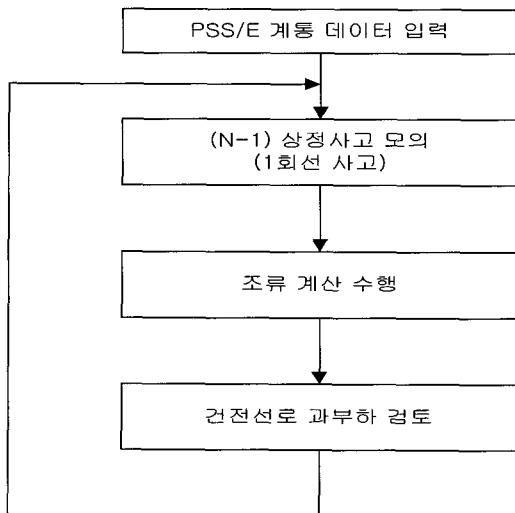


그림 4. 선로 증설 여부 평가를 위한 N-1 상정사고 검토 절차

Fig. 4. Procedure of Power System Planning

PSS/E 계통 해석 결과 증설이 필요한 선로는 표 8과 같이 모두 22개이며 지역별로는 서울을 포함한 수도권이 14개 선로로서 전체의 64%를 차지하고 있으며 부산이 5개 선로 그 외 지역이 3개 선로로 분포되어 있다. 관로의 규모가 3 또는 4회선 규모인 경우에는 기존 관로를 이용하여 필요 회선을 증설하면 되지만 기존 관로 규모가 2회선인 경우는 추가로 회선을 설치할 수 없다. 따라서 이와 같이 기존 관로에 회선 증설을 위한 여유가 없을 경우에는 선로 증설을 위한 관로 추가 공사를 수행하여야 한다.

따라서 그림 5와 같이 기존 2회선 규모 관로에 선로를 증설하기 위해서는 기존 관로에 추가적인 토목공사를 수행하여야 한다. 이 경우 한전 관로 포설 기준에 따라 관로는 지표면과 1.2m의 간격을 두고 포설하여야 하므로 그림 6과 같이 기존 2회선 관로 및 케이블을 제거한 후 추가되는 관로 공간 확보를 위한 토목공사가 수행되고 이어 관로 및 케이블 설치작업이 수행된다.[7]

이러한 포설 기준과 작업 방식에 의하면 현재 1회선 선로의 증설이 필요한 경우라 할지라도 향후 부하 증가에 따른 증설을 고려하여 최대 관로 규모인 4회선 규모의 관로를 건설해 두는 것이 일반적인 관행이므로 실제로는 1회선 증설만을 목적으로 한다하더라도 공사비는 4회선 신규 지중선로를 건설하는 것과 거의 비슷할 것이다.

지중선로 건설의 경우 케이블 가격보다는 관로 및 전력구 건설을 위한 토목공사비용이 대부분의 건설비용을 차지할 정도로 큰데 이러한 조건을 고려한다면 기존 케이블에 비해 3-4배의 송전용량을 가지는 초전

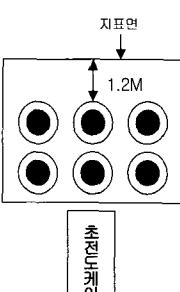
도 케이블을 그림 5와 같이 기존 관로를 이용하여 설치한다면 상전도 케이블을 사용하는 경우와 달리 추가적인 관로 공사가 필요 없게 되어 매우 큰 경제적 효과를 기대 할 수 있다.

표 8. 추가 증설 필요 선로

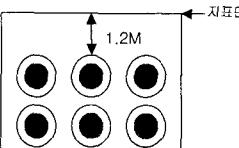
Table 8. List of Installing additional transmission line

선로명	회선	선종	규격 (mm ²)	N-1 상정사고시 건전선로부하율 (%)
미아 - 쌍문	2	XLPE	1200	122.2
성동 - 마장	2	XLPE	2000	139.1
마장 - 신당	2	XLPE	2000	128.2
광장 - 뚝도	2	OF	1200	111.7
광장 - 구의	2	OF	2000	167.0
광명 - 구공	2	OF	2000	178.8
석촌 - 송파	2	XLPE	1200	105.9
역삼 - 대치	2	OF	1200	132.0
한화 - 신현	2	XLPE	2000	136.5
신안산 - 남안산	2	XLPE	2000	106.6
신안산 - 성포	2	XLPE	2000	126.2
부평 - 부흥	2	XLPE	2000	122.7
안양 - 동안양	2	OF	1200	105.5
평촌 - 동안양	2	XLPE	2000	107.3
영등 - 팔봉	2	XLPE	2000	141.6
두류 - 내당	2	OF	1200	143.4
두류 - 봉덕	2	XLPE	2000	142.8
북부산 - 구포	3	XLPE	2000	123.3
구포 - 모라	2	XLPE	2000	155.1
남부산 - 다대	2	OF	2000	141.4
부산 - 수정	2	OF	1200	150.5
엄궁 서부산	2	OF	1200	158.1

<기존 2회선 규모 관로>



<기존 관로 이용>



<선로 증설을 위한 추가 공사>

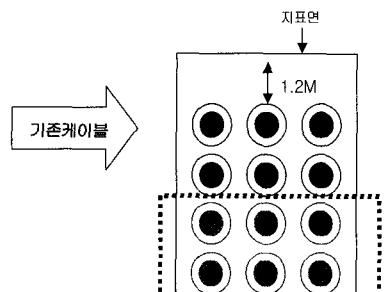


그림 5. 지중선로 증설시 작업 방법 비교

Fig. 5. Comparison of Construction Process

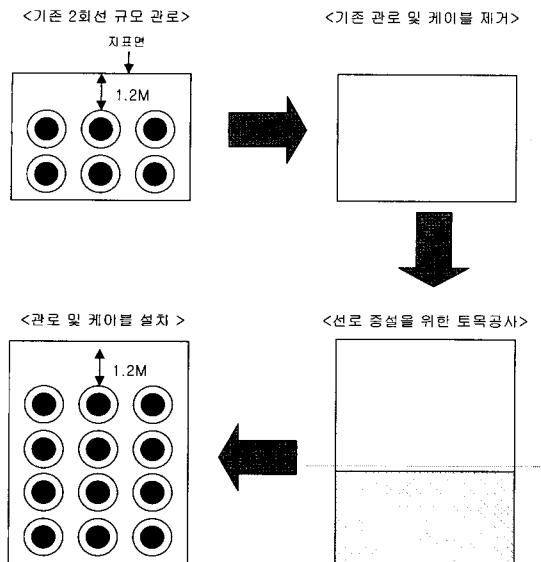


그림 6. 기존 케이블을 이용한 충설시 필요한 공사 절차

Fig. 6. Construction Process of Conventional Cable

4.4 초전도 케이블 적용 대상 고찰 결과

앞서 언급한 세 가지 적용 가능 대상에 대한 적용 가능성은 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

○ 154kV 지중선로는 대체로 1970년대 서울지역에 대부분 설치되어 있고 그 후 80-90년대를 거치며 서울 및 기타 대도시에 적용 되었다. 따라서 154kV급 초전도 케이블이 상용화되는 2010년경에는 1990년대 이전에 설치된 이들 선로의 교체 검토가 필요할 것이다.

○ 이처럼 기존 케이블 수명이 완료되는 선로의 교체시 초전도 케이블을 적용한다면 기존 케이블 선로에 비해 송전손실 저감 및 향후 부하 증가에 따른 추가 투자비용 회피 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

○ 초전도 케이블은 기존 케이블 대비 약 3-4배 정도 큰 송전용량을 가지고 있다. 따라서 기존 케이블에 비해 적은 회선으로 보다 큰 전력공급이 가능하므로 신규로 건설되는 2회선 선로에 초전도 케이블을 적용한다면 기존 케이블 2회선 선로를 설치할 경우에 비해 향후 부하증가에 따른 선로 충설 요구시 추가 건설비용이 들지 않는 장점이 있다. 1회선 신규 선로의 경우도 2회선 선로와 동일한 효과를 기대할 수 있으나 말단 선로와 같은 경우에는 전력공급 신뢰도 문제가 발생할 수 있으므로 이에 대한 검토를 사전에 수행하여 적용 여부를 결정해야 할 것으로 생각된다.

○ 우리나라 전력수요 증가는 2010년까지 매년 꾸준한 성장을 예상하고 있다. 특히 수도권 지역은 전체 부하 중 약 40% 이상을 차지하는 부하 밀집지역이며 도심내의 가공선로 건설은 경과지 확보난 등으로 사실상 불가능하여 지중선로의 이용이 불가피하다.

아울러 도심내의 지중선로 건설 작업시 주민들의 부정적 시각과 과도한 보상비 소요와 같은 상황에서 부하 증가에 따른 선로 충설시 기존 관로 및 전력구를 최대한 활용하는 것이 필요하다. 그러나 일부 선로의 경우 기존 관로나 전력구 규모에 따라 선로를 충설할 여유가 없을 경우가 있는데 이로 인해 추가적인 공사를 수행하여야 하는 경우가 발생할 수 있다. 이 경우

회선 충설을 위해서는 필수적으로 토목공사를 수행하여야 하는데 지중선로 건설비용 중에서 토목공사비가 매우 큰 부분을 차지하는 상황에서 기존 관로를 이용하여 추가적인 토목공사가 필요하지 않는 초전도 케이블의 적용은 매우 좋은 대안의 하나가 될 것이라고 판단되며 세 가지 적용 가능 대상 중 상전도 케이블 적용했을 경우와 비교하여 가장 경제적인 측면에서 경쟁력이 높은 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 논문에서는 초전도 케이블의 전력계통에의 적용을 위한 사전 타당성 검토 차원에서 수행되었으며 우리나라 전력계통 및 지중선로 전반에 대한 여러 자료를 수집 분석하여 기본적인 초전도 케이블 적용 방안을 제시하였다. 이와 더불어 구체적인 적용 가능 대상을 도출하고 이들에 대하여 그 적정성을 계통측면에서 정성적으로 검토하였다. 본 논문에서 잠정적으로 도출한 결과를 요약하면 다음과 같다.

○ 초전도 케이블의 계통 적용은 가공선로 보다는 지중선로 적용이 현재로서 적절할 것으로 판단되며 특히, 상전도 케이블 비해 전력수송 능력이 뛰어난 초전도 케이블의 특성을 활용하기 위하여 일반 간선이 아닌 대도심내의 부하 밀집지역을 연결하는 지중선로 구간에 적용하는 것이 가장 가능성이 높을 것으로 판단된다.

○ 구체적인 적용 가능 대상은 크게 기존의 노후 케이블 대체하는 경우, 신규 건설될 선로에 적용하는 경우, 부하증가로 인한 선로충설시 적용하는 경우로 나누어 생각할 수 있다.

○ 이들 세 경우에 대한 경제적인 타당성 여부는 정량적인 금액으로 산정하여 검토하여야 하나 현재 초전도 케이블 가격 및 냉각장치 비용 등이 향후 기술발달에 따라 매우 가변적일 것으로 생각되며 또한 현재 개발된 초전도 케이블 및 냉각장치는 상용단계가 아닌 prototype 수준이며 전압계급도 상이하여 그 가격을 산정하는 것은 현실적으로 어려움이 크다. 그러나 지중선로의 경우 관로 및 전력구 건설과 같은 토목공사비용이 전체 공사비용의 대부분을 차지할 정도로 큰 비용이 필요한데 세 가지 경우 중 선로충설시 초전도 케이블을 사용하면 상전도 케이블을 사용하는 경우에 비해 토목공사가 불필요하므로 경제적인 측면에서의 경쟁력이 매우 높을 것이다. 또한 초전도 선재 및 냉각장치 기술의 발달에 따라서 나머지 두 경우도 잠재적인 경제적 가치는 매우 높다고 판단된다.

향후 대도심내의 송전선로 입지문제가 더욱 곤란하게 되고 더불어 부하밀도가 더욱 높아질 것으로 예상되는 계통조건 하에서 초전도 케이블의 계통적용은 이러한 문제들을 해결할 수 있는 좋은 대안 중의 하나라고 판단된다.

감사의 글

“본 연구는 21세기프론티어 연구개발사업인 차세대 초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.”

참 고 문 현

- [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. Silberglitt, Emile Ettingui, 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 설비계획", 2001. 3
- [6] 한국전력공사, "한전 지중선로 현황", 2001. 6
- [7] 한국전력공사, "한전 지중선로 설계기준", 1987. 8

저 자 소 개



김종율(金鍾律)

1974년 07월 06일생, 1997년 부산대학교 전기공학과 졸업, 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 현재 한국전기연구원 전력연구단 신전력시스템 그룹 연구원



윤재영(尹在暎)

1962년 07월 30일생, 1985년 부산대학교 전기공학과 졸업, 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 현재 한국전기연구원 전력연구단 신전력시스템 그룹장



이승렬(李昇烈)

1975년 09월 23일생, 1999년 고려대학교 전기공학과 졸업, 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 2003년 동 대학원 전기공학과 박사수료, 현재 한국전기연구원 전력연구단 신전력시스템 그룹 연구원