

고온초전도 전력케이블 적용효과 검토

A Study on the Application Effects of HTS Power Cable

성기철*, 조전욱*, 김해종*, 권영길*, 최상봉**, 류강식***, 김봉태#, 유인근##

K.C.Seong*, J.W.Cho*, H.J.Kim*, Y.K.Kwon*, S.B.Choi**, K.S.Ryu***, B.T.Kim#, I.K.Yu##

Abstract : In this study, we performed the long-term expansion planning for the conceptual design of HTS power cable in Seoul area. In Korea, underground power cable has been required gradually with increasing demand of electric power and environmental limitations in the urban area. Since the HTS power cable have the high power transmission density and low loss characteristics in the comparison with a conventional power cables, so we assumed that the HTS power cable is applied between the downtown area and the outskirts of the city for the large power transmission capacity. This paper is to show the effects of HTS power cables in Seoul based on the power system analysis.

Key Words : HTS Power cable, transmission system planning, load forecasting, power system analysis, economic analysis.

1. 서 론

산업의 지속적인 성장에 따라 전기에너지 수요는 해마다 꾸준히 증가하고 있으며 2010년의 최대전력은 6천 1백만 kW로 현재의 1.5배 이상 증가할 것으로 예측된다.[1] 이와 함께 도심지역에 있어서는 345kV OF 케이블계통을 신설하고 기존의 154kV 케이블 계통도 확충하고 있으나 전력수요는 약 20%가 서울에 편중되어 있으며 중장기적으로 볼 때 지하철, 통신, 수도 및 가스 등 조밀화된 지하공간에 관로나 전력구를 신설하는 것은 매우 곤란하기 때문에 기존의 전력케이블만의 송전망 확충방법은 머지 않은 장래에 한계점에 도달할 것으로 예상되고 있다.

이러한 문제점의 해결방안으로 저손실 OF케이블, 관로 지중케이블, 대용량 CV케이블의 적용과 절연체의 유전체 손실의 저감, 고전압화 및 강제 냉각방식 등에 대해 연구되고 있으나 약 2배 정도의 송전용량 증대로 단기적인 대책으로 그칠 뿐이다.

이에 비해 고온초전도케이블은 저항이 없고 리액턴

스 성분도 작기 때문에 대용량 송전이 가능하며 동시에 송전손실도 줄일 수 있어 운전경비의 절감이 기대되는 이상적인 송전방식으로 각광받고 있다. 따라서 최근 고온초전도케이블에 대한 연구가 선진국을 중심으로 활발하게 진행되고 있다[2]-[4].

본 논문에서는 대도시인 서울지역의 초전도케이블 적용효과를 알아보기 위해 전력조류 및 상정사고 분석을 통한 2035년까지의 장기 송전망 계획을 수립하여 기존 케이블에 의한 확장(안)과 초전도케이블을 도입한 경우에 대한 각각의 소요 회선길이를 상호 비교하였다. 그리고 이에 따른 소요 비용분석을 통해 각각의 경제성을 분석하여 가장 도입효과가 우수한 방안을 선정하였다.

2. 검토방법

전력계통 분석용 S/W인 PSS/E program을 사용하여 각 검토 연도별로 발전 및 수요를 배분하고 전력조류 및 상정사고 분석을 통해 전력설비 확장기준에 따라 선로 및 변압기의 과부하를 검사하여 설비를 확장한 후 기존의 확장안과 초전도케이블을 적용하는 경우에 대해 경제성을 비교 분석하였다. 이를 정리하면 그림 1에서와 같다.

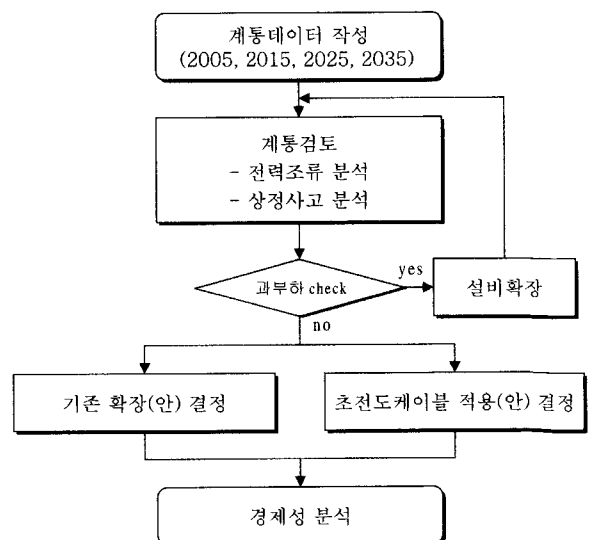


그림 1. 검토 흐름도

Fig. 1. Flowchart of the study

2.1 발전 및 수요 배분

전력수요는 표 1과 같이 매년 4.3[%]씩 지속적

* 정 회 원 : 한국전기연구소 초전도응용연구그룹

** 정 회 원 : 한국전기연구소 지중시스템연구그룹

*** 정 회 원 : 한국전기연구소 전략기술연구단장

정 회 원 : 창원대학교 전기공학과 석사과정

정 회 원 : 창원대학교 전기공학과 교수

원고접수 : 2000년 10월 17일

심사완료 : 2000년 11월 17일

으로 증가할 것으로 예측되고 있다.

표 1. 발전 및 수요 예측

Table 1. Power generation and load forecasting in KOREA

[단위:MW]

	2005년	2015년	2025년	2035년
전국발전	61,610	79,060	88,610	107,487
전국수요	51,660	67,510	83,939	102,321
서울수요	8,581	12,592	18,460	27,064

한편 한국전력공사의 서울의 전력수요 예측결과[5]에 의하면 특히 신시가인 강남지역 및 신 개발지역인 영등포 지역의 전력수요 성장률이 기타지역보다 높을 것으로 예측하고 있어 보다 정밀한 검토를 위해 표 2에서와 같이 서울을 11개 지역으로 세분하여 각각의 전력수요를 상정하였다.

표 2. 서울지역의 지점별 최대수요 예측

Table 2. Peak load forecasting of each zone in Seoul

[단위:MW]

	2005년	2015년	2025년	2035년
중부	854	1,220	1,789	2,623
동부	471	662	970	1,423
서부	493	704	1,032	1,513
남부	588	894	1,310	1,921
북부	837	1,267	1,857	2,723
성동	652	936	1,372	2,011
성서	467	675	989	1,450
영등포	1,239	1,771	2,597	3,807
강동	752	1,087	1,594	2,337
강서	706	1,118	1,638	2,402
강남	1,522	2,258	3,311	4,854
서울전체(합계)	8,581	12,592	18,460	27,064

발전배분의 경우 2005년의 계통을 기본으로 동일지역에 발전소가 증설되는 것으로 하였으며, 역률은 90%로 정하였다.

2.2 전력설비 확장기준

전력설비의 확장기준은 표 3에서와 같이 전력설비에 흐르는 전력조류가 자신의 과부하 허용용량을 초과하는 경우 동일구간에 동종의 전력설비로 확장하는 것으로 가정하였다.

표 3. 전력기기의 과부하 허용기준

Table 3. The limitation criteria of the overload condition

항목	조건	과부하	비고(계통안정유지목표)
송전선	1회선고장	잔여선로과부하허용(연속전류120%)	100~120% : 20분간
변압기	1뱅크고장	잔여뱅크과부하허용(연속전류120%)	100~120% : 60분간

3. 초전도케이블 적용구간

초전도케이블의 적용구간을 살펴보기 위해 서울지역의 중장기 전력수급 현황을 분석한 결과 그림 2에서와 같다. 즉, 원거리에 위치한 발전지역과 서울지역간에 765kV계통을 신설하고, 이를 통해 대용량의 전력을 서울 주변지역에 위치한 345kV계통을 통해 공급할 계획이다.

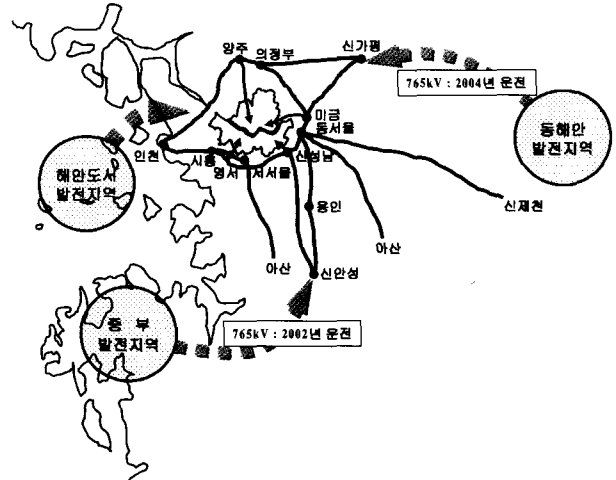
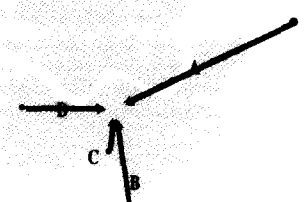


그림 2. 서울지역의 장기 전력계통 계획
Fig. 2. Long term Power system planning of Seoul Area.

따라서 그림 3과 같이 초전도케이블 적용 후보구간은 발전지역인 중부 및 동부 해안지역으로부터 765kV 송전선로를 통해 대용량의 전력이 유입되는 변전소 및 해안도서에 위치한 서부 발전지역으로부터 전력이 유입되는 변전소와 서울지역 내에서도 가장 전력수요 증가율이 높은 강남지역에 154kV 변전소간을 연결하는 6가지로 선정하였다.



안	구간	설 명
1	A	동부지역↔도심부 간에 초전도케이블 적용
2	B	중부지역↔도심부 간에 초전도케이블 적용
3	A+B	1, 2안 병행
5	C	내부 중부지역↔도심부 간에 초전도케이블 적용
4	D	내부 서부지역↔도심부 간에 초전도케이블 적용
6	C+D	4, 5 안 병행

그림 3. 고온초전도케이블의 적용 검토구간
Fig. 3. Study cases of the HTS power cable

4. 경제성분석 방법

4.1 검토 대상 케이블의 최적화

초전도 케이블의 도입을 최적화하기 위해 결정해야 할 사항 중에 큰 문제점 중의 하나가 대상지역에 적용 가능한 적절한 전압계급과 회선당 송전용량을 선택하는 것이다.

국내에서는 첫째 송전용량의 경우, 대상지역인 서울시의 2035년 전체 최대수요가 약 30GW로 예측되고 있어 계통의 신뢰도를 고려하여 전체용량의 1/10인 3GW로 초전도 케이블 도입용량을 적용하였다. 한편, 회선당 송전용량의 경우는 3GW/회선 이상의 대용량 초전도 케이블의 경우는 계통 운용면이나 코스트 면을 고려할 때 논의의 시기가 너무 이르다고 판단되어 회선당 1GW로 선정하여 전체 3회선의 도입을 적용하였다.

둘째 전압계급의 경우는 선정된 송전용량 1GW/회선 당 정도에서는 66kV 전압이 케이블 외경이 가장 크고 275kV의 경우가 최소로 된다. 154kV의 경우에는 그 중간으로서 130~140mm 정도가 되어, 세가지 전압계급 모두 국내 관로에 포설이 가능하기 때문에 어느 쪽이든 별 문제는 없을 것으로 판단된다. 또한 연간 손실전력량의 경우는 154kV의 경우가 가장 적어서 전압계급 66kV의 50% 정도가 되어 154kV의 경우가 가장 유리하다. 그 밖의 중요한 요소로서 국내에 초전도 케이블이 도입되는 경우, 기존의 송전계통과 협조 가능한 전압 계급이 필요하기 때문에 초전도 케이블의 전압계급을 기존의 케이블 계통과 동일한 154kV 전압계급을 채택하면 전압안정성과 변전설비 면에서 장점을 유지할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 이와 같은 면을 모두 종합하여 국내의 경우는 관로에 포설이 가능하도록 전압계급 154kV로서 회선당 1GW 용량의 초전도 케이블을 도입하는 것이 바람직하다.

다음 표 4는 1GW/회선당 154kV급 3GW 용량으로서 관로에 포설 가능한 고온 초전도 케이블과 전력구에 포설된 CV케이블과의 개념설계를 도시하였다.

표 4. 검토 대상 케이블의 최적 개념설계(3GW 송전의 경우)

Table 4. Comparison with optimal conceptual design between examination cables

항 목	종 류	고온 초전도체 Bi 2223 계	상온 CV케이블
정격용량[GW]		1	0.33
정격전압[kV]		154	154
정격전류[kA]		7.5	1.2
회선 수[cct]		3	9
케이블 외경[mm]		140	145
최소 전력구(관로) 내경[mm]		200 (관로)	3500 (전력구)

4.2 경제성 비교

다음은 154kV로 회선당 1GW의 용량으로 총 3GW를 계통에 도입하였을 때 케이블의 건설비용을

비교 평가하였다. 표 5에서 알 수 있듯이 Km당 건설 코스트 비용에서 고온 초전도 케이블의 투자비용이 기존 CV 케이블의 약 38%로 투자비가 상당히 절감되어 초전도 케이블의 경제성을 확인할 수 있다.

표 5. 검토대상 케이블의 건설비용 비교(3GW 송전의 경우)

Table 5. Comparison with construction cost between examination cables

항 목	종 류	고온 초전도체 Bi 2223 계	상온 CV 케이블
정격전압[kV]		154	154
정격용량[GW]		1	0.33
회선수[cct]		3	9
케이블 건설비용 [억원/Km·회선]		16.67	8.33
케이블 건설비용 [억원/Km]		50	75
전력구(관로) 비용 [억원/Km]		9	80
총 건설비용 [억원/Km]		59	155

5. 사례 검토

본 검토에서는 도심지역의 고온초전도케이블의 적용효과를 검토하기 위해 기존의 지중케이블에 의한 확장안과 고온초전도케이블을 적용한 6가지 후보안의 경우에 대해 회선길이를 계산한 후 이에 대한 건설비용 측면에서 상호 비교하였다. 5년 후인 2005년부터 고온초전도케이블을 적용한다고 가정하고 2005년까지는 기존의 케이블로 확장된 서울의 송전계통을 나타내면 그림 4와 같다.

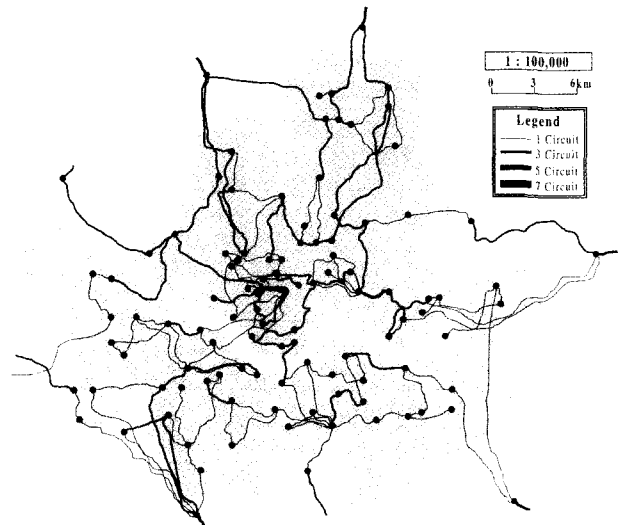


그림 4. 2005년 서울지역의 전력계통

Fig. 4. Power transmission system of Seoul in 2005

기존케이블로 확장된 2035년 서울의 전력계통은 그림 5와 같다.

그림 4와 5를 비교하면, 2035년에 서울의 전력계통은 2005년과 비교하여 약 2배 이상의 송전케이블이 필요한 것으로 분석되었다.

초전도케이블 적용 후보구간인 6가지의 경우를 각각 분석한 결과를 정리하면 표 6에서와 같다. 이 표에서 보는 것과 같이 2035년의 경우, 송전 케이블의 길이를 비교한 결과 1안인 동부↔도심의 경우가 1,694.2(km)

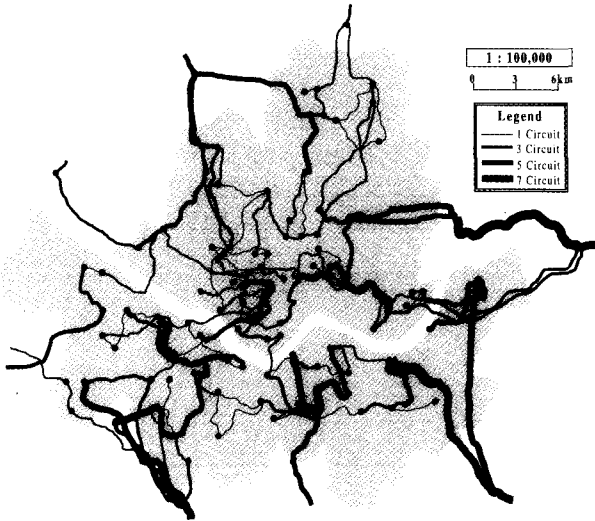


그림 5. 2035년 서울지역의 전력계통 확장안
Fig. 5. Power transmission system of Seoul in 2035

표 6. 각 안별 송전 케이블 회선길이 및 건설비용
Table 6. Comparison with required transmission cable circuit length and construction costs

안	소요 회선길이[km]			경제성(억원)				
	2005년	2035년		케이블 비용	전력구 및 관로비용		총 건설 비용	
		기존 케이블	초전도 케이블		전력구	관로		
초전도 적용	1	1,154	1,694	77.5	5,795	21,840	139	27,774
	2	"	1,839	53.5	6,600	17,520	96	24,216
	3	"	1,746	84.5	6,342	17,436	236	24,014
	4	"	1,776	10.25	5,351	17,604	19	22,974
	5	"	1,976	78.9	8,168	27,360	119	35,647
	6	"	1,838	34.5	6,275	24,480	137	30,892
기존케이블	1,154	2,359	-	10,039	33,756	-	43,795	

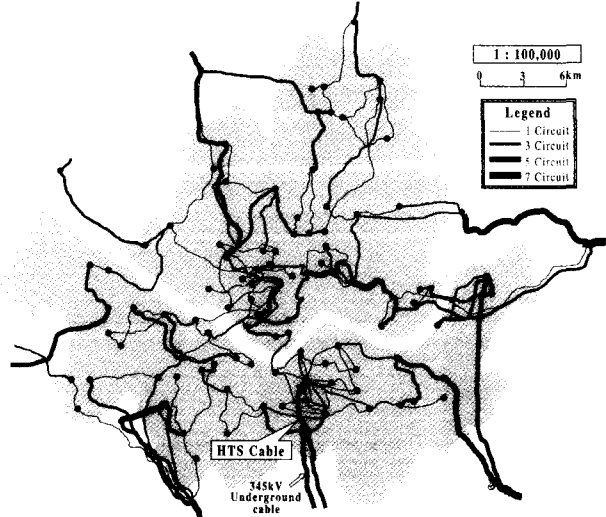


그림 6. 2035년 서울지역의 전력계통 확장안(서울내부 중부에서 도심지역간 고온초전도케이블 도입)
Fig. 6. Power transmission system in 2035 (Installed HTS power cable between inner middle area the downtown)

로 가장 작아, 기존 확장 안보다는 660(km)의 절감 효과는 물론 선로손실도 7(MW)감소하여 약 3.5%의 절감효과가 있는 것으로 분석되었으나 반면 초전도케이블의 소요길이는 77.5km로 다른 안과 비교하면 다소 길었다. 따라서 이를 종합하여 건설 비용측면에서 분석한 결과 4안의 경우(그림 6)가 약 2조 3천억원으로 가장 효과가 있는 것으로 분석되었다.

6. 결 론

서울의 고온초전도케이블 도입효과를 검토한 결과, 4안이 가장 효과가 있는 것으로 나타났으며, 최종 검토연도인 2035년 계통의 경우 기존확장안 보다 소요 송전선로 길이는 약 25% 이상 절감시킬 수 있었으며, 송전 선로손실도 약 3.5% 줄어드는 것으로 나타났다. 그리고 고 선로 건설비용을 계산해본 결과 기존의 지중케이블에 의한 확장안보다 2조원 이상 절감할 수 있었다.

본 연구에서는 전력조류 측면에서의 검토를 대상으로 하였으나, 향후에는 이를 보다 구체화시키기 위해 더욱 상세한 계통특성 분석을 통해 초전도 케이블 적용에 대한 정밀한 분석을 실시할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] Ministry of Commerce, Industry and Energy, "5th Long term Power Supply and Demand Forecast in KOREA", 2000. 1.
 [2] International Workshop on High-Tc Superconducting Power Transmission Cables, IEA Workshop, April 1997.
 [3] M.M. Rahman, M. Nassi, "High-capacity cable's role in once and future grids", IEEE Spectrum, pp.31-35, July 1997.
 [4] Hideo Ishii, "Assessment of Compact High-Tc Superconducting AC Power Cable and its Application", JIEE, Vol 33, No. 3..

1988.

[5] Korea Electric Power Cooperation, "A Study on the Improvement of mid-long term Distribution system in Seoul". 2000. 1.

저 자 소 개



성기철 (成耆哲)

1956년 2월 20일생, 1980년 한양대학교 공과대학 전기공학과 졸업, 1983년 동대학원 졸업(석사), 1986년~현재 한국전기연구소 책임연구원



조전욱 (趙全旭)

1960년 3월 2일생, 1983년 한양대학교 전기공학과 졸업 1985년 동대학원 졸업(석사), 1990년~현재 한국전기연구소 초전도응용연구그룹 선임연구원



김해중 (金海鍾)

1965년 11월 25일생, 1993년 경상대학교 전기공학과 졸업, 1995년 동대학원 전기공학과 졸업(석사), 1995년~1996년(주)현대정공 근무, 1996년~현재 한국전기연구소 초전도응용연구그룹 선임연구원



권영길 (權永吉)

1959년 7월 28일생, 1982년 부산대학교 기계공학과 졸업, 1990년 동대학원 졸업(공학박사), 1990년~1991년 한국기계연구원 선임연구원, 현재 한국전기연구소 초전도응용연구그룹 그룹장



최상봉 (崔商鳳)

1958년 2월 12일생, 1981년 아주대 전자공학과 졸업, 1991년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 1989년~현재 한국전기연구소 지중시스템 연구그룹 선임연구원



류강식 (柳康植)

1958년 8월 5일생, 1980년 한양대학교 전기공학과 졸업, 1987년 동 대학원 졸업(공학박사), 1988년~1993년 한국전기연구소 초전도 연구실 실장, 1993년~99년 한국전기연구소 초전도응용연구사업팀장, 현재 한국전기연구소 전략기술연구단장



김봉태 (金鳳泰)

1973년 12월 27일생
1999년 경남대학교 공과대학전기공학과 졸업, 현재 창원대학교 공과대학 전기공학과 석사과정, 한국전기연구소 위촉연구원



유인근 (劉仁根)

1983년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1986년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 1985년 6월~1988년 2월 한국전기연구소 선임연구원(지중송전연구실장), 1990년 12월~1992년 2월 University of Texas at Arlington(Post-Doc.) 1996년12월~1998년2월 Brunel University, UK(Visiting Scholar)1988년 3월~현재 창원대학교 공과대학 전기공학과 교수