

초전도케이블에 의한 전력계통의 혼잡비용 저감 효과

김현홍, 이근준*
 건국대학교, *충북 과학 대학

The effects of congestion cost reduction by the application of Superconducting cable

Hyun-Houng Kim, Geun-Jun Lee*
 Konkuk University, *Chungbuk Provincial University of Science &Technology

Abstract - In Korea power system, the transfer capability of transmission line is limited by the voltage stability and it is difficult to construct new iron tower due to incremental interest for environmental problem and construction costs. Recently, HTS cable could be one of the countermeasures to solve the transfer limit because of it is transported to large power with compact size. However, the characteristic of HTS cable have a various problem.

This paper presents the effects of congestion cost reduction by the application of HTS (High-Temperature Superconducting) cable. In this paper, the transmission ability before and after application of HTS cable are examined in a viewpoint for voltage stability. therefore, the effects of congestion cost reduction by HTS cable.

1. 서 론

산업문명의 고도화와 에너지 사용에 따른 환경오염문제로 인하여 전체 에너지중 전기에너지의 사용이 50%로 육박할 것으로 예상되고 있으며, 수요 또한 폭발적으로 증가함에 따라 전기에너지의 안정적인 공급을 위해 대용량 송전계통의 확충과 전력케이블의 대용량화와 기존의 케이블의 한계를 극복할 수 있는 기술이 필요하게 되었다.

특히 최근에는 전력시장 규제완화 및 환경문제에 대한 관심도의 제고 추세는 전력수송설비의 신증설을 거의 불가능하게 만들고 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위한 한가지 방법으로 에너지 절약효과가 크고 대용량화 및 계통안정도와 손실이 저감되는 초전도 전력케이블의 응용이 다양화 될 것이다. 따라서 이에 대처하기 위한 초전도케이블의 연계 계통의 기술적/경제적 검토를 위한 계통 응용기술 기반이 조성되어야한다.

본 논문은 이를 위해 IEEE14 모션을 이용하여 초전도케이블 연계 전력계통의 해석을 하여 초전도케이블의 적용기법에 대하여 연구하였다.

2. 본 론

2.1 기존계통의 수송력 검토 방법

전압안정도 향상효과를 얻기 위한 초전도케이블 적용선로의 선정하기 위한 방법으로는 다음과 같은 과정을 실시하였다.

- 기존 계통의 각모선의 부하전력을 증가시켜서 전압안정도 제약 한계 전력을 구한다.

- 각 선로의 전압 붕괴 기여도를 나타내는 무효전력 손실감도 지표 PI를 구한다.

$$PI = \frac{\Delta Q_{loss} \text{ for branch } j}{\text{maximum } \Delta Q_{loss} \text{ for all branches}}$$

- 무효 전력 손실감도가 큰 선로를 초전도로 대체 후 전압안정도 제약 한계 전력을 구한다.

그림 1은 초전도케이블 계통 적용 검토 과정을 나타내었다.

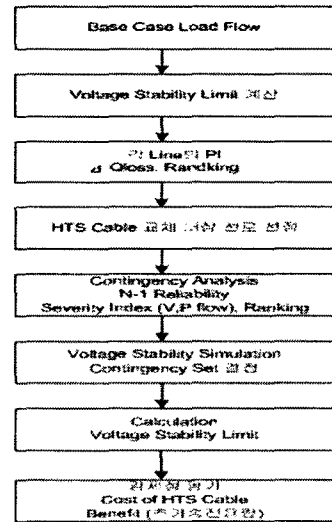


그림 1. 초전도케이블 계통 적용 검토 과정

2.2 모의계통 및 사례연구

초전도케이블의 전압안정도 제약 완화 효과를 검토하기 위한 모의 시스템으로 그림2와 같은 IEEE14모션을 사용하였다. 전압안정도는 P-V곡선에 의한 정적 전압안정도 검토를 하는 것으로 하였으며, 부하는 Constant P,Q로 가정하였다. 모의 프로그램으로는 PSS/E를 사용하였다.

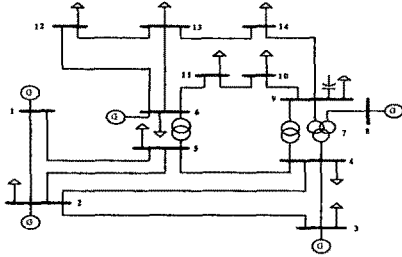


그림 2. IEEE 샘플 14모선 계통

2.2.1 PI 계산과 초전도화 선로 선정

Case I 에 대한 무효전력손실 감도지표는 표 2.3와 같이 산정되었으며, PI가 높은 순서에 의거 검토 대상 Case는 표 2과 같이 선정하였다.

표 1. Case I 계통의 선로 조류와 우선 PI

Line No.	BUS		Incremental Q Flow [MVAR]	PI[p.u.]
	From	To		
1	1	2	50.1	0.969
2	1	5	51.8	1
3	2	3	26.2	0.506
4	2	4	23.2	0.447

표 2. 초전도케이블 적용 모의시스템

Case	계통개요	HTS 케이블 적용선로선정	관측 모션
I	Base Case		#4, #5
II	1,2 Line 초전도화	PI 우선순위	#4, #5
III	1,2,3 Line 초전도화	PI 우선순위	#4, #5

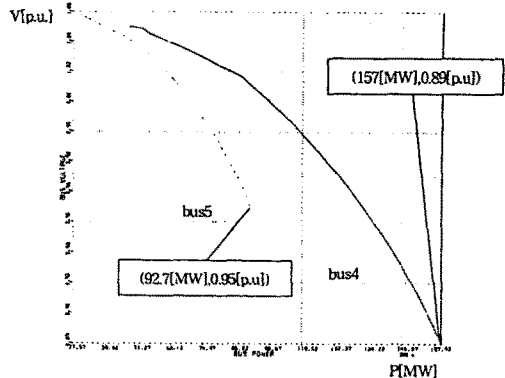


그림 4. Case II - ①,②선로 초전도화

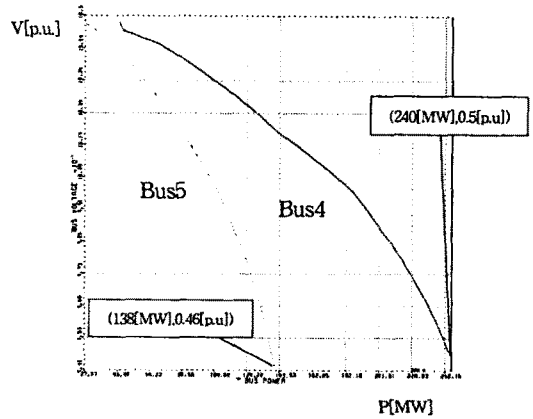


그림 5. case III - ①,②,③,④선로 초전도화

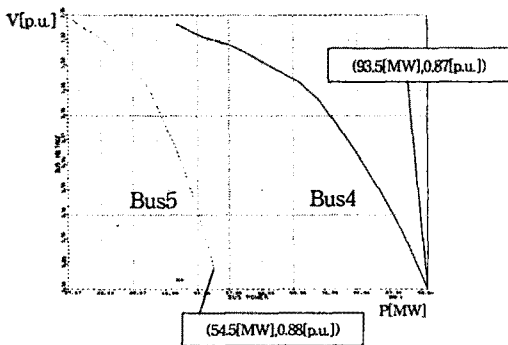


그림 3. 초기 계통의 PV Curve (Case 1)

Base Case I 계통의 부하를 증가시켰을 때 #4, #5 모선의 P-V 곡선은 그림 3이다. 각 선로의 PI 중 가장 높은 PI를 보인 선로중 상위 2개 선로(1,2)에 대해 초전도케이블을 교체한 결과 P-V Curve는 그림 4와 같으며 Case I에 대비, 1.7배의 전송능력 증가를 보였다.

동일한 방법으로 Case II에 추가로 상위 2개 선로(1,2,3)에 대해 초전도케이블을 추가한 결과 P-V Curve는 그림 4와 같다.

표 3. 초전도케이블 응용 전압안정도 개선효과

		ΣP_g	ΣQ_g	ΣPL	ΣQL	Ploss	Qloss	Qc	Sh
case I	초기점	343.2	54.6	339	73.5	4.2	11.9	28.2	2.1
	붕괴점	740.4	322.5	678	147	62.4	199.6	24.1	1.5
case II	초기점	343.2	54.6	339	73.5	4.0	29.1	26.4	2.1
	붕괴점	1276.6	671.4	1169.5	253.6	107.0	441.5	22.3	1.5
case III	초기점	340.9	52.1	339	73.5	1.91	5.71	25	2.1
	붕괴점	1865.1	965.9	1765	382.3	107.7	609.1	22.1	1.7

2.2.2 전압안정도 한계전력의 계산

IEEE-14계통에 대하여 N-1 상정사고를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우에 대해 최대허용 부하전력을 계산하였다.

표 4. 전압 안정 한계 전력계산

	Case No.	상정사고	ΣPg	ΣQg	ΣPL	ΣQL	Pj/Qj
Case 1	초기계통		343.2	54.6	339	73.5	42.7/11.9
	Case-101		699.1	332.8	644.1	139.6	55.0/217.0
	Case-111	1-2 과부하	512.4	261.8	474.6	102.9	37.7/175.1
Case 2	Case-201		916.1	546.1	867	188.2	48.2/382.4
	Case-222	4-5 전압2	666.5	383.1	627.2	136.0	39.3/270.1
Case 3	Case-301		1904.4	1278.7	1764.2	384.8	130.1/917.0
	Case-322	2-4 전압2	1428.3	989.9	1325.0	287.1	117.2/726.4

표 4은 N-1 상정사고 세트중 가속도가 클 것으로 예상되는 상정사고 세트를 5가지를 선택하고 전압안정한계전력을 구한 결과를 요약한 것이다.

기저계통(Case I)의 경우 N-1 신뢰도를 적용한 경우 전압안정한계 부하전력은 474.6[MW]였는데, 2회선을 초전도화한 경우(Case II) 627.2[MW]로 32[%] 추가송전이 가능하였다. 4회선을 초전도화한 경우는 1325.0[MW]로 179[%]의 추가송전이 가능하였다.

2.2.3 경제성 평가

초전도케이블을 전압안정도 제약계통에 적용함으로써 얻은 추가 송전용량에 대한 경제성 평가는 전력망의 개선에 의한 혼잡비용 회피효과에 기반하여 초전도송전시에 상응되는 초전도송전선로 건설비와 원격지 원자력 발전비의 합을 혼잡영향을 받는 부하지의 인근에 설치되는 복합화력 발전력 신설비 및 운전비와 비교 계산함으로써 가능하다.

복합 화력은 500MW급으로 건설비용은 약 3천억원으로 추정하고 있다[8]. 표 4의 사례연구 결과(Case 322)를 통해 알 수 있듯이 추가 송전용량이 1325MW 이므로 이는 3기 복합화력 발전기 증설용량에 해당된다.

초전도케이블은 아직 국제적인 시세가 많은 차이가 있으나, 대략 25[백만원/m] 정도로 조사되었으며, 송전선로는 냉각이 기술적으로 유효한 100km로 가정한다. 또한 원자력 발전기의 발전비용은 3.4[원/kWh]로 한다.

혼잡지역에 대한 발전기 증설비용과 혼잡선로에 대한 초전도케이블 대체비용에 대한 경제성 평가는 그림 6에 나타내었다. 그림 6에서 볼 수 있듯이 발전기와 초전도케이블 간의 대체비용은 17년~18년을 사이에 두고 초전도케이블의 대체비용이 작아짐을 알 수가 있다. 이와 같은 경제성 평가 결과는 초전도케이블의 대체비용이 장기적인 측면에서는 이득이 될지 모르나 단기적인 측면에서는 초전도케이블의 대체비용이 더 많은 비용을 소모하는 것을 알 수가 있다.

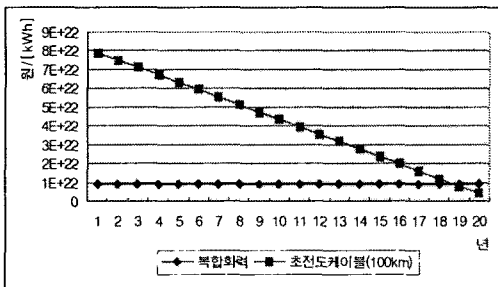


그림 6. 초전도케이블과 복합화력의 경제성평가

그림 6과 같은 경제성 평가를 고려하여 단기적인 측면(10년이하)에서 초전도케이블의 경제적인 이득 얻기 위해서는 표 6에서 볼 수 있듯이 초전도케이블의 단가가 100m당 15억 이하의 비용으로 생산되어야 할 것이다.

표 6, 그림 7은 초전도 케이블이 단기적인 측면에서 경제적 이득을 나타 낼 수 있는 범위를 나타낸 것이다.

표 6. 초전도케이블의 경제적 이득 범위

단가	년
20[억/m]	13
15[억/m]	10
10[억/m]	7
5[억/m]	4

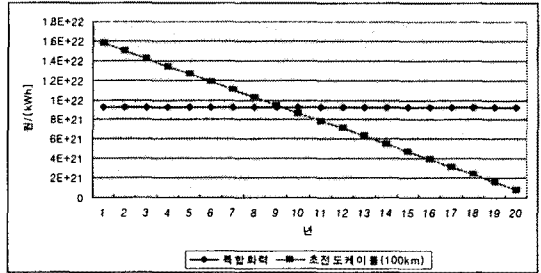


그림 7. 단기적인 측면에서 초전도케이블의 경제적 이득범위

3. 결론

초전도케이블 중 현실적으로 전력계통 응용 가능성이 있는 고온 초전도케이블(HTS cable)을 전압안정도에 의해 수송력이 제약되는 모형계통에 적용하는 방법을 검토하였다. 검토 결과, HTS cable이 대전력 수송능력과 전압안정도로 제약된 계통에 대하여 수송능력을 한차원 크게 향상시킬 수 있음을 보였다. 또한 초전도케이블의 대체 비용과 복합화력 신설비용을 비교함으로써 초전도케이블의 경제적 이득범위를 평가하였다.

향후 초전도케이블의 실용화를 보다 정밀히 검토하기 위해서는 해당 전압계급에 대한 HTS 케이블의 열적, 전기적, 기계적 특성이 구체적으로 규격화되어야 하며, 우리나라의 경우 22.9[kV], 154[kV], 345[kV]용 HTS cable 및 직류 HTS cable의 실용화를 위한 전력계통상의 적용검토 및 규격설정에 대한 연구가 면밀히 수행되어야 한다.

[참고 문헌]

- [1] S. honjo, K. Matsuo, T. Mimura, Y. Takahashi, "High- T_C superconducting power cable development", Physica C 1234-1240, 2001
- [2] K. Hayashi, T. Hikata, T. Kaneko, M. Ueyama, A. Mikumo, M. Ayai, S. Kobayashi, H. Taki and K. sato, "Development of Ag-Sheathed Bi2223 superconducting wires and their application", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol. 11, No. 1 pp. 3281-3284, 2001
- [3] L. Usar, D. Parker, M. Tanner, E. Podtburg, D. Buczek, J. Scudiere, P. Caracino, S. Spreafico, P. Corsaro and M. Nassi, "Long length manufacturing of high performance BSCCO-2223 tape for the Detroit Edison power cable project", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol. 11, No. 1, pp. 3256-3260, 2001
- [4] "초전도케이블의 전력계통 적용 기반기술연구," 전력연구원-충북과학기술대학, 중간보고서 2004. 8
- [5] T. Hernni, A. Ninomiya, T. Ishigohka, K. Kurahashi, K. Arai, J. Yamaguchi, M. Umeda and K. Kaiho, "Transient behavior of Bi2223/Ag HTS tape for sharp rising current", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol. 12, No. 1, pp. 1422-1425, 2002
- [6] T. Masuda, T. Kato, H. Yumura, M. Hirose, S. Isojima, S. Honjo, K. Mausuo, T. Mimura, Y. Takahashi "Experimental results of a 30m, 3 core HTSC cable", Physica C, 1555-1559 (2002)
- [7] 이근준, 황시돌, "전압안정도 제약 계통에 대한 고온초전도케이블 적용효과", 한국조명 전기설비학회 논문지 2004. 9.
- [8] KPX, 발전 설비현황 2003, 표준발전기 (부록)