

초전도케이블의 계통 응용 적용개소 선정기법 연구

이중배, 이근준*, 황시돌**, 김창현

주)그린넷파워, 충북과학대학*, 전력연구원**, 주)그린넷파워

A Study of the Selection Method for the Application Section of Superconducting Cable

Jong-Bae Lee, Geun-Joon Lee*, Si-Dol Hwang**, Chang-Hyun Kim

GreenNetPower Corporation, Chungbuk Provincial University of Science & Technology*, KEPRI**

Abstract - 본 논문에서는 초전도 케이블의 계통 적용 시 적용개소의 선정기법을 제시하였다. 초전도 케이블은 케이블의 장선화가 불가능하고, 송전용량이 대용량이어야 하며, 특히 초전도체에서 상도체로의 전이현상이 일어나는 켄치 현상이 있다. 따라서 단거리, 대용량인 소용개소에 초전도 케이블의 적용이 이루어져야 한다. 이에 본 논문에서는 이러한 초전도 케이블의 특성을 고려하여 적용개소 선정에 있어 최적조류계산을 통한 기술적 검토와 경제적 검토를 수행하였으며 또한 초전도 케이블의 교체 전인 기존 계통과의 비교를 통해 선정기법의 타당성을 제시하였다.

1. 서 론

지속적인 경제성장은 생활의 편의를 제공해준과 동시에 에너지 고갈이라는 과제를 안겨주었다. 에너지의 50% 이상을 차지하는 전기 에너지는 미래 사회에선 없어서는 안 될 에너지 중 하나이다.[1] 한정된 자원을 유용하게 쓸 수 있는 기술도 필요하고, 무한히 주어지는 태양광 에너지, 풍력, 지열, 수력, 조력 그리고, 대체에너지의 개발을 이뤄내는 것도 필요하다. 무엇보다 발생하는 에너지를 손실 없이 이용하는 방안이 절실하다. 전력수급계획에 있어서 수요 공급에 따른 선로 열용량 한계를 극복하기 위해 선로 신·증설, FACTS 방법 등 여러 가지 방안이 제시되지만, 본 논문에서는 그 방안으로 초전도 케이블을 제시하였다.

고도의 산업화와 함께 계속적으로 증가하는 수요를 충족하기 위한 발전, 송전 및 배전 시설의 확충이 불가피하다. 이 중 대용량의 송전계통 확충과 전력케이블의 대용량화는 기존케이블의 한계를 극복할 수 있는 기술이 필요하게 되었다. 전력설비의 신·증설에 대한 환경 문제와 지역주민들의 유치 반대, 신·증설 공간의 부족은 전력수송설비의 신·증설을 더욱 어렵게 하고 있다. 이에 기존의 계통 설비에서 보다 효율적이고, 경제적인 전력수송설비의 적용이 필요하다.

전력수송설비에 영향을 미치는 기술요소에는 도체 전도율 기술, 리액턴스 기술, 고효율변압기 기술, 초전도 기술 등 여러 가지가 있지만, 그 중 초전도 케이블 기술은 대전력 수송계통에서 전압안정도로 제약된 계통에 대하여 높은 수송능력을 보임으로써 전력수송설비에 우수한 영향을 미치는 기술로 대두되고 있다.[2-3]

따라서 증가하는 수요에 대해 신뢰성 있고 대용량이면 손실이 거의 없는 초전도 케이블은 이러한 문제점에 대한 해결책으로 제시되어진다.

본 논문에서는 초전도 케이블의 계통 적용에 있어서 적용개소의 선정기법에 관하여 열용량 한계 측면에서 연구하였다. 사례계통은 IEEE-14 모션을 사용하였고, 적용개소 선정의 타당성을 제시하기 위해 simulator (Power World 8.0)의 최적조류계산을 사용하여 초전도 케이블 적용에 대한 경제성을 검토하였다.

2. 본 론

전력전송계통에 따른 해결방안에는 선로 신·증설, FACTS, 초전도케이블 교체 등이 있다. 이중 선로 신·증설 및 FACTS는 앞서 언급한 환경문제, 부지 확보 문제, 지역주민의 반대 등 여러 가지 요인들로 인해 계통보강 방안으로 사용되기에는 어려움이 있다.

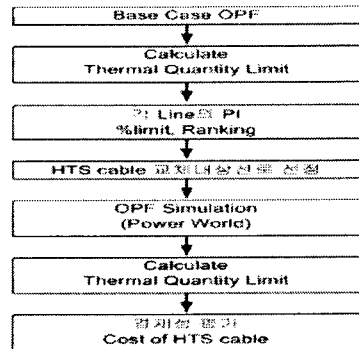


그림 1. 초전도 케이블 계통 적용 검토 과정

2.1 초전도 케이블

초전도 전력케이블은 높은 전류 전송 용량을 가지는 장점으로 저압의 상태로 전력이 전송가능하고, 대용량 전송이 가능하다.[4] 또한 초전도 케이블에 쓰이는 초전도 테이프의 기계적 특성상 적용구간이 단선구간이 되어야 한다.[5] 특히 과도한 단락 전류에 의한 켄치 현상 때문에 발생하는 케이블의 손상을 방지하기 위하여 케이블 보호 메커니즘에 대한 연구를 통해 안정성 제어 개념을 도출하고 이에 대한 대책이 요구된다.[6-8]

2.2 모의계통 및 사례연구

모의계통을 통한 사례연구 방법은 다음과 같다.

- 1) 최적조류계산을 통한 선로 열용량 검토
- 2) 부하의 단계적 증가를 통한 열용량 한계 산출
- 3) 초전도 케이블 대체 선로 선정
- 4) 초전도 케이블 대체 후 최적조류계산
- 5) 열용량 한계 개선 검토
- 6) 최적조류계산을 통한 경제성 검토

2.2.1 모의 계통

초전도 케이블의 계통 적용 검토를 위해 그림 2과 같이 IEEE-14 모션을 사용하였다. 발전기의 연료비용정수

는 표1과 같고, 시뮬레이션 프로그램으로 Power World ver8.0을 사용하였다. 전력전송설비의 신·증설이 필요한 선로를 선정함에 있어, 선로 열용량 한계를 검토하여 전체 부하를 10%씩 증가시켜 선로 열용량 한계를 넘어서는 선로를 도출하였다.

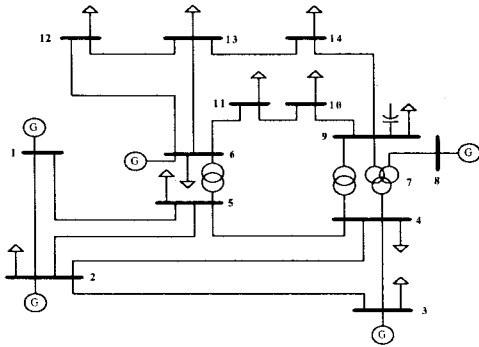


그림 2. IEEE-14 bus system

표 1. 발전기 연료비용 정수

gen number	a	b	c
1	414	7.94	0.001
2	403.61	7.519	0.0014
3	253.24	7.836	0.0013
6	388.93	7.573	0.0013
8	194.28	7.771	0.0019

2.3.2 모의 결과

2.3.2.1 교체 대상 선로 선정

단계적인 부하의 증가로 인한 선로의 열용량 증가를 통해 교체 대상 선로를 ranking 한다.

그림. 3에서 보는 것과 같이 부하를 10%씩 증가하여 부하가 초기계통의 부하에서 60%가 증가하였을 때, 열용량한계 초과 선로가 나오게 되었다. 부하만으로 구성되어 있는 10번과 11번 모선의 전력공급을 위해 슬랙 모선인 1번 모선에서 부터 6번 모선까지 올라오는 조류와 8번 모선의 발전기로부터 올라오는 조류가 10번과 11번 모선에 공급하게 된다. 그 중 1-2 line과 6-11 line로 흐르는 조류가 선로 열용량 한계를 초과하게 되었다.

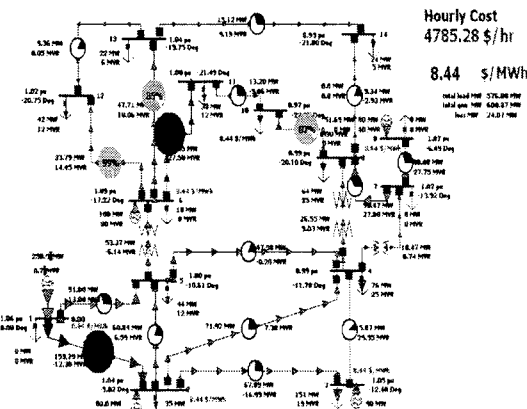


그림 3. 부하 60% 증가

2.3.2.2 초전도 케이블 교체

계통선로 1-2 line과 6-11 line을 초전도 케이블로 교체하여 OPF simulation 수행한 결과는 그림 4와 같다. 초전도 케이블은 CD(Cold Dielectric) HTS 케이블을 적용하다. CD형 HTS 케이블의 선로 정수는 기존 케이블에 비해 R값: 1/300, L값: 1/6, C값: 4/5로 하여 구성하였다. 두 구간의 선로를 초전도 케이블로 교체함으로써 선로 조류 흐름이 각 선로의 열용량 한계 내에서 이루어질 수 있었고, 시간당 총비용 또한 감소시킬 수 있었다.

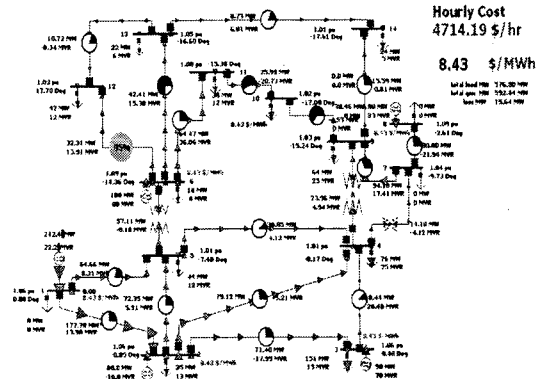


그림 4. 1-2, 6-11 line 초전도 케이블 교체

2.3.2.3 열용량 한계 개선

시뮬레이션 결과, 1-2 및 1-11 line의 열용량 한계%가 114% 및 101%에서 25.5% 및 24.6%로 급격히 줄어들었음을 알 수 있다.

그림 5는 열용량한계를 넘어서는 선로를 초전도 케이블로 교체하는 대신 부하로만 구성된 10, 11모선의 전력 공급을 위해 10모선에 발전기를 추가한 모의계통결과이다. 발전기의 비용정수 및 발전 상한 등의 데이터는 표 2와 같다.

표 2. 10모선에 추가된 발전기 데이터

구분	데이터
비용정수	a=388.93, b=7.573, c=0.0013
출력 상·하한	Pmax=150MW, Pmin=0MW Qmax=80Mvar, Qmin=-10Mvar

150MW 용량의 발전기 1기를 추가하여 OPF simulation을 수행한 결과, 각 선로의 열용량 한계에 준하는 조류가 흐르고 있음을 알 수 있다. 또한 원격지에 있는 발전기에서 공급되는 조류가 감소함으로써 선로손실 또한 감소하고 있음을 알 수 있다.

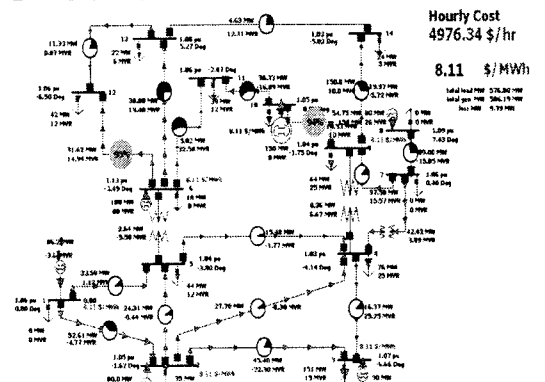


그림 5. 10모선에 발전기 추가

2.3 경제성 평가

OPF simulation을 통해 초전도 케이블 교체 및 발전기 추가 진입에 대한 계통 모의 결과는 표 3과 같다.

표 3. OPF simulation 요약

Case	시간당 총비용 [\$/hr]	증분비 [\$/MWh]	송전손실 [WM]
초기계통	4785.28	8.44	24.07
초전도 케이블 교체	4714.19	8.43	15.64
신규발전기 건설	4976.34	8.11	9.39

모의결과 증분비와 송전손실은 신규발전기 건설이 8.11\$/MWh와 9.39MW로 가장 좋으나 시간당 총비용은 초전도 케이블의 교체가 신규 발전기 건설에 비해 시간당 262.15\$의 이득을 가져올 수 있었다.

초전도 케이블의 건설비용과 신규발전기의 건설비용을 비교하여 초전도 케이블 적용의 타당성을 평가한다.

신규 건설 발전기는 복합화력 발전기 150MW급 1기로 가정하고 건설비용은 약 930억원으로 추정한다. 계통에 공급되는 150MW에 대한 향후 20년의 비용은 약 500억원으로 초전도 케이블의 건설비용이 430억원이 될 때, 경제성을 가진다. 초전도 케이블의 건설비용은 250억원/km이므로 현재의 기술로 계통에 적용시키기에는 비효율적인 문제가 있다.

그림 6은 부하가 1000MW이상으로 증가했을 때, 500MW급 복합화력 발전기 3기를 추가한 것과 초전도 케이블의 가설을 비교한 것이다. 초전도 케이블의 성능 향상 및 가설비용의 감소가 있고, 계통의 용량부족이 1000MW이상으로 올라갈 때, 그림 6과 같이 초전도 케이블의 적용에 대한 경제성이 타당할 수 있다.[3]

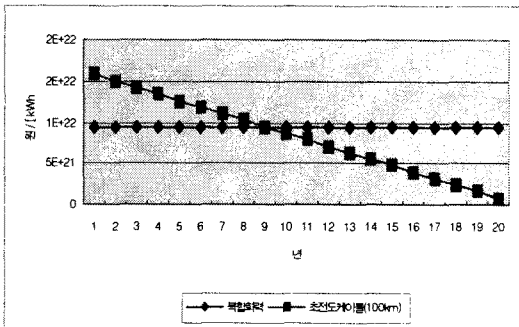


그림 6. 발전기와 초전도 케이블의 경제성 평가

3. 결 론

초전도 케이블의 적용개소 선정에 대한 방법 제시를 위해 열용량 측면에서의 검토를 최적조류계산을 통해 수행한 결과는 다음과 같다.

1. 열용량 한계를 초과한 선로의 경우, 초전도 케이블을 적용하여 열용량 한계 제약을 개선하고, 선로 손실을 감소시킬 수 있었다. 초전도 케이블의 교체로 계통의 시간당 총 비용 개선이 발생하고, 증분비 감소가 발생함을 알 수 있었다.
2. 증가된 부하를 지역 복합화력 발전기의 신규 건설로

충당할 때, 초전도 케이블 교체가 시간당 비용을 감소시킬 수 있었다.

3. 초전도 케이블의 단가 하락이 현재보다 절반수준으로 이루어지면, 신규 발전소의 건설이나 선로 신·증설보다 경제성을 가지게 될 것임을 예상할 수 있었다.

본 논문에서는 초전도 케이블 적용대상 선로선정에 있어서 선로의 열용량 한계에 대해서 주안점을 두었다. 초전도 케이블의 계통 적용에 있어서는 열용량 한계 개선 문제뿐만 아니라 상정사고 해석, 고장계산 수행 등과 같은 신뢰도 개선 방안에 대해서도 계통 시뮬레이션을 수행하여 계통 적용 시 발생할 수 있는 전압안정도, 과전류 보호 등의 연구도 함께 이루어져야 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] S. honjo, K. Matsuo, T. Mimura, Y. Takahashi, "High- T_c superconducting power cable development", Physica C 1234-1240, 2001
- [2] 이근준, 홍원표, 황시돌, 김현홍, 박희철, "이산화탄소 배출권이 전력수송설비의 기술개발에 미치는 영향 검토", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 pp.536-538, 2005
- [3] 김현홍, 이근준, "초전도 케이블에 의한 전력계통의 혼잡비용 저감 효과", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp66-68, 2005
- [4] S. K. Olsen, O. Tonnesen and J. Ostergaard, "Power applications for superconducting cables in denmark", IEEE Trans on Applied Superconductivity, Vol. 9, No. 2, pp. 1285-1288, 1999
- [5] 전력연구원-충북과학기술, "초전도케이블의 전력계통 적용기반기술 연구", 중간보고서, 2004. 8.
- [6] T. Kiss, M. Jasegawa, K. Ogata, V. S. Vysotsky, Y. Ilyin and M. Takco, "Quench characteristics in HTSC devices", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol. 9, No. 2, pp. 1073-1075, 1999
- [7] N. A. Buznikov, A. A. Pukhov, A. L. Rakhmanov and V. S. Vysotsky, "Current redistribution between strands and quench process in a superconducting cable", Cryogenics 36, pp. 275-281, 1996
- [8] V. S. Vysotsky, V. N. Tsikhon, and G. B. J. Mulder, "Quench development in superconducting cable having insulated strands with high resistive matrix(Part 1, experiment)", IEEE Trans. on Magnetics, Vol. 28, No. 1, pp. 735-738, 1992