

# 154 kV 초전도 한류기 모선연계 적용 연구

윤용범, 현옥배, 황시돌, 김혜림  
한국전력공사 전력연구원

## Investigation of the Feasibility of a Bus-bar coupled SFCL in the 154 kV KEPCO Grid

Yong-Bum Yoon, Ok-Bae Hyun, Si-dol Hwang, Hye-Rim Kim  
Korea Electric Power Research Institute, KEPCO

hyun@kepri.re.kr

**Abstract** - Applicability and economical feasibility of a Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) have been investigated using the PSS/E simulation for a bus bar coupling at the real 154 kV KEPCO power grid near Seoul. For the investigated substation, the maximum fault current exceeds the interruption rating of 4 circuit breakers (CB) out of 9 installed in the substation. The simulation showed that a SFCL installed in the bus tie position effectively limits the fault currents to save 4 CBs, which are to be replaced by ones of greater interruption rating, otherwise. We suggest that the optimum resistance of the SFCL be 10 Ohm for the given grid.

한 선택이지만 계통의 유연성 및 공급 신뢰도 저하를 감수해야 한다. 이에 대한 대안으로 초전도 한류기가 제시되고 있거니와, 고장전류를 1/2주기 이내에 줄여줌으로써 다수의 차단기에 영향을 줄 수 있다.

본 연구는 한국전력의 계통, 그 중에서도 서울 근교의 실제 154 kV 계통에 대해 초전도 한류기를 모선연계용으로 적용할 경우 한류효과 및 차단기에 대한 영향을 PSS/E 계산을 통해 조사한 것이다.

### 1. 서 론

초전도 한류기가 초전도 전력기기 중 조기에 응용될 수 있음에는 한류기가 상대적으로 간단하다는 점에 더하여 기존 계통을 변경시키지 않고 설치될 수 있다는 점도 크게 작용한다. 이러한 초전도 한류기는 여러 형태로 개발되고 있거니와, 실제 응용 대상인 송전급 한류기 개발이 이미 진행되고 있다 [1-4]. 초전도 한류기 개발에 있어 활용 수준의 용량을 갖는 기기 개발과 그에 대한 장기신뢰성 검증 등이 우선되어야 하겠지만, 그에 더하여 실제 계통에 적용되었을 경우 활용 방식, 경제적 이득, 보호협조 등에 관한 연구 또한 빠질 수 없다. 게다가 각국의 전력계통이 상이하므로 개개의 계통에 대한 사례연구가 이루어져야 한다.

한전의 주 계통은 345 kV 선로로서 강력하게 network화 되어있다. 여기에 수용가로 연결을 위해 154 kV 송전선로를 설치하고 있다. 이 계통은 선로가 짧은데다 지속적 설비 증설로 고장전류가 증가하였으며, 고장전류를 줄이기 위해 154 kV의 경우 다수의 변전소에서 모선을 분리하고 방사상 운전을 채택하고 있다. 이는 고장전류 억제에 위

### 2. 한전의 154 kV 계통 - 변전소 S1의 경우

한전의 154 kV 계통은 기본적으로 network화 되어 있고, 실제 network 운영을 실시하고 있다. 그러나 증대된 고장전류를 줄이기 위해 상당수의 변전소에서 모선분리를 통해 방사상 운영을 채택하였다. 여기서 연구된 대상계통은 그림 1에 보여지는 서울 부근의 변전소 S1 계통이다 [5]. 이

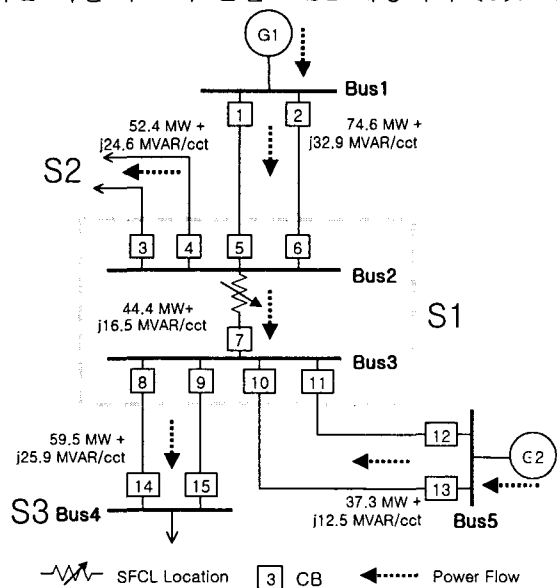


그림 1. The 154 kV grid. The SFCL locates the bus-tie position

계통에서 154 kV/22.9 kV 주변압기를 통하는 선로는 제외하였다. 그림 1의 계통은 부하중심지의 변전소들을 포함하는 전형적인 계통으로서 모선 B2와 모선 B3는 동일변전소의 2중모선(double bus)을 나타내고 있으며, 차단기 CB7의 개방에 의하여 모선분리 운전이 가능하게 된다. 모선연계 차단기 (bus-tie circuit breaker)로서 CB7이 B2 모선과 B3 모선사이에 이 존재하게 되는데, 초전도 한류기는 이와 직렬로 설치되는 것으로 가정하였다. 따라서 초전도 한류기 저항이 영(zero) 인 경우는 실질적으로 모선연계(Bus connection)를 의미하여 무한대( $\infty$ )인 경우는 모선분리(bus split)를 의미한다. Table 1은 각 모선의 선로 데이터이다.

Table 1. Line data

From bus to bus	cct	impedance(p.u)	From bus to bus	cct	impedance(p.u)
1 - 2	1	0.00021+j0.00147	3 - 5	2	0.0009+j0.00067
1 - 2	2	0.00021+j0.00147	3 - 4	1	0.00008+j0.00085
3 - 5	1	0.0009+j0.00067	3 - 4	2	0.00008+j0.00085

모선연계시 및 분리시의 B2 모선과 B3 모선의 3상단락 고장용량(short circuit capacity)은 Table 2에 있다.

Table 2. The maximum fault currents (kA)

차단용량	모선연계시	모선분리	
	B1 사고	B2 사고	B3 사고
50	53	33	32

상기 계통에 설치된 모든 차단기의 차단 용량은 50 kA이다. 표 1에 의하면 모선 분리시 어느 사고에도 차단기의 용량을 넘지 않고 있다. 그러나 모선 연계시는 최대 고장전류가 53 kA로서 차단용량을 넘고 있다. 수요가 늘고 설비 증설이 이루어짐에 따라 상기 고장전류는 더 증가할 것인 바, 이는 멀지 않은 미래에 차단기 일부가 교체되어야 함을 의미한다.

### 3. 초전도 한류기 적용

상기 계통에 초전도 한류기를 적용한 경우 고장전류를 계산하였다. 그림 2는 한류기의 저항에 따른 고장전류 크기와 한류기에 입력되는 에너지 크기를 나타내고 있다. 이 계산에서는 저항 방식 한류기를 가정하였다.

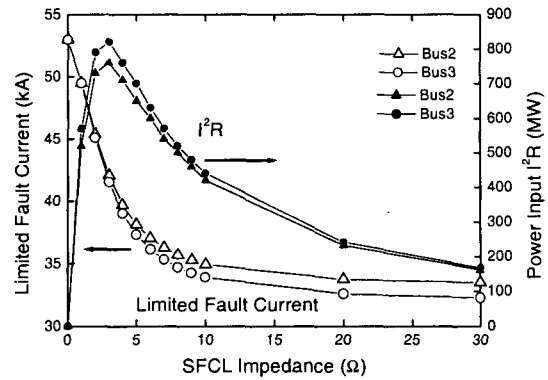


Fig. 2. The maximum fault currents and power inputs against the SFCL resistances for the bus-tie SFCL

초전도 한류기는 모선연계 지점에 설치됨을 가정하였으므로 한류기 저항 크기에 따라 모선사이를 지나는 전력조류는 변하게 된다. 저항이 0 Ω에서 고장전류가 최대(53 kA)이고, 저항이 증가할수록 고장전류 크기는 급격히 감소하여 10 Ω에서 35 kA로 줄어든다. 그러나, 그 이상에서는 완만한 변화를 보여 100 Ω에서도 32 kA로 유지되도록 거의 변하지 않는다. 이는 전원이 양쪽에 있어서 한류기가 한 쪽의 전류를 제한해도 다른 한 쪽의 전원에 의해 일정 전류가 유지되기 때문이다. 이 그림으로부터 동 계통에 대해 모선연계용 한류기의 가장 적절한 저항값으로 10 Ω이 적절하다 하겠다. 더하여, 한류기에 유입되는 전력은 저항이 커질수록 초기에는 급격히 증가하여 3 Ω에서 최대값을 보인 후 감소한다. 저항 10 Ω의 경우 400 MW의 전력이 유입되므로 한류기는 이 정도의 열발생에도 견딜 수 있도록 제작되어야 한다.

### 4. 한류기 효용성

상기 계통의 모선연계 지점에 적용된 10 Ω의 한류기는 효과적으로 고장전류를 제한하여 차단기 차단내력 이하로 유지시킨다. 이 경우 변전소 S1에 설치된 9대의 차단기 중 4대가 고장용량 초과 위험에서 벗어나게 된다. 그림 1에서 보면 차단기 CB 5,6과 10, 11 및 7은 어떤 사고에도 고장전류가 차단기 내력 50 kA를 초과하지 못한다. 이는 상기 차단기를 통과하는 전력이 G1과 G2 중 한개의 전원으로부터의 전류만 감당하기 때문이다. 이와는 달리, 수용가 방향으로 향하는 선로에 부착된 차단기 CB3,4 및 8,9는 해당선로 사고시 양 전원의 전력조류 전체를 흡수할 수 있어 최대 고장전류에 노출되어 있다. 즉, 해당 계통에서 모선연계 지점의 초전도 한류기는 차단기 4대를 보호하고 있는 셈이다.

상기 계통에서 모선연계는 계절에 따라 융통성 있게 적용되고 있다. 비록 가능한 최대 고장

전류는 차단기 내력을 초과하고 있지만, 그 차가 크지 않아 완전히 안전하지는 않을지라도 모선연계 운전이 가능하다. 그러나 수요 증대에 따라 고장전류가 더 증가하면 상시 모선분리가 불가피할 수 있다.

모선 연계와 모선 분리 사이에 초전도 한류기의 경제성을 정량적으로 분석하는 것은 대단히 어렵다. 모선 연계는 안정도 증대, 계통 유연성 확보 및 공급 신뢰도 향상 등 무형의 이득을 주는 바, 이를 정량화하기 어렵기 때문이다.

이런 연유로 본 연구에서는 차단기 교체 지연에 다른 효과만을 보기로 한다. 앞서 설명한 바와 같이, 1대의 초전도 한류기는 해당 계통에서 4대의 차단기를 보호하고 있다. 따라서 차단기 4대의 교체를 지연시킬 수 있다. 50 kA 차단기 교체는 63 kA급이며, 이 차단기 가격은 대당 3.75 억원에 이른다. 그러므로 1대의 한류기는 4 대 × 3.75 억원/대 = 15억원의 경제적 효과가 있는 셈이다. 반대로, 한류기 가격이 15억원 이하일 때 경제성 있음을 의미하기도 한다.

## 5. 요약

한국전력의 서울 부근 154 kV 계통에 대해 초전도 한류기를 모선연계용으로 사용시 활용성을 분석하였다. 해당 계통에서 한류기의 적정 저항은 10 Ω이었다. 한류기 없이 모선연계시 최대 고장전류 53 kA를 10 Ω의 한류기는 35 kA로 한류한다. 동 변전소에 설치된 9대의 CB중 4대가 한류기에 의해 안전이 보장되고 있는 바, 한류기 1대가 차단기 4대 교체지연, 혹은 경제적으로는 15억원의 효과를 주고 있다. 모선연계에 따른 계통 유연성 확보 및 공급 신뢰성 향상 등은 별도의 이득이다.

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

## (참 고 문 헌)

- [1] Makan Chen, W. Paul, M. Lakner, L. Donzel, M. Hoidis, P. Unternaehrer, R. Weder, and M. Mendik, "6.4 MVA resistive fault current limiter based on Bi2212 superconductor", *Physica C*, vol. 372, pp. 1657-1663, 2002.
- [2] S. Elschner, F. Breuer, M. Noe, T. Rettelbach, H. Walter, and J. Bock, "Manufacturing and Testing of MCP 2212 Bifilar Coil for a 10 MVA Fault Current Limiter", *IEEE Trans. on applied supercon.* vol. 13(2), pp. 1980 (2003).
- [3] K. Shimohata, S. Yokoyama, T. Inagucii, S. Nakamura, and Y. Ozawa, "Design of a large current-type fault current limiter with YBCO films", *Physica C*, vol. 372, pp. 1643-1648, 2002.
- [4] IGC Superpower Press Release (2003년 8월 14일)
- [5] 2003 KEPCO Annual report, KEPCO