

국내계통에서의 초전도기기 도입관점 보호방식에 대한 연구

이승렬 김종울 윤재영
한국전기연구원

A Study on the protection system from the viewpoint of superconducting devices application in Korean power system

Seung-Ryul Lee Jong-Yul Kim Jae-Young Yoon
Korea Eelectrotechnology Institute

Abstract - This paper describes the consideration of relaying systems in case of applying superconducting devices to Korean power system. First of all, this paper investigates relaying systems in Korean power system and then do a basic study on relaying systems in the power system with superconducting devices. This paper is only provisional result of the study. For the more detailed result, the study using EMTDC relaying system modeling will be done from the viewpoint of superconducting devices application in the future.

Table 1. Transformer protection in Korean power system

피보호 대상설비	구 분	주보호	후비보호	
			단락	지락
345kV 변압기	1차측	전류비율 차동방식	거리계전방식	방향과전류방식
	2차측		거리계전방식	방향과전류방식
	3차측		과전류방식	과전압방식
154kV 변압기	1차측	비율차동 계전방식	과전류계전방식	
	2차측		과전류계전방식	

1. 서 론

전세계적으로 고온초전도체의 발견 이후, 고온초전도체의 장점을 이용하여 전력분야에 응용하려는 수많은 연구가 진행되어 왔다[1][2]. 이러한 세계적 조류에 따라서 국내에서도 전력분야에서 초전도체를 이용한 전력기기 개발 및 계통적용을 위한 다양한 연구가 진행되어 왔다. 특히, 초전도기기를 기존 계통에 적용할 때 발생하는 문제점 및 계통적용을 위한 고려사항에 대한 연구는 매우 중요한 것으로서, 최근 이에 대한 다양한 검토가 진행 중에 있다[3~5]. 그 결과 조류배분/전압강하 문제 등의 계통현상과 함께 기존 계통에서의 보호방식과의 상이점 등 기술성 측면에서 검토해야 할 사항이 대두되었다. 초전도기기의 특성인 고장상태에서의 Quenching에 따른 초전도기기 임피던스 변화는 기존 전력계통 내의 보호방식과 상충되는 면이 있을 가능성이 있으므로 충분한 사전검토가 필요할 것으로 사료된다[6][7]. 본 논문에서는 이러한 기술성 측면에서 고려해야 할 사항 중 하나인 보호협조 방식에 대한 기본검토를 수행하였다. 주 검토대상은 현재 국내의 초전도기기 개발범위인 22.9kV 및 154kV급 적용을 위한 보호방식이다.

2.2 모선보호

국내 계통의 모선보호방식은 주로 전압차동계전방식과 위상비교방식을 사용하고 있으며, 국내 154 kV 모선의 예를 나타내면 다음 Table 2와 같다.

Table 2. 154kV bus protection in Korea

피보호설비	적용보호방식		비 고
	주보호	후비보호	
154kV 모선	2중모선	위상비교방식	없음
	단일모선	전압차동방식	
			저전압 Check 방식 구비

2. 국내 전력계통 보호계전 방식

초전도기기가 보호계전방식에 미치는 영향을 검토하기 위해서는 먼저 국내의 전력계통에서의 보호방식에 대한 검토가 필요하다. 따라서 본 장에서는 국내 154kV 및 22.9kV 전력계통에서의 보호방식에 대하여 고찰하였다[8~12].

2.1 대형 전력기기 보호

국내 계통에서 보호대상으로 하고 있는 대표적인 전력기기는 발전기 및 변압기로서 기본적으로 차동계전방식을 사용하고 있다. 국내 대형 전력기기 보호방식 예로서 변압기의 보호방식 개요는 아래 Table 1과 같다.

2.3 154kV 송전선로보호

국내 154kV 송전선로의 보호계전 방식으로, 주보호에는 방향비교 트립저지방식과 PCM전송 전류차동방식을 사용하고 있으며, 후비보호로는 3단계 거리계전방식을 사용하고 있다. 154kV 송전선로 보호방식을 요약하면 아래 Table 3과 같다.

Table 3. 154kV transmission line protection in Korea

피보호설비	주보호	후비보호
154kV 송전선로	- 방향비교 트립저지방식 - PCM전송 전류차동방식	3단계한시 거리계전방식

2.4 22.9kV 배전선로보호

배전계통의 구성은 송전계통과 달리 대부분 방사상으로 구성되어 있어 고장이 발생하면 고장전류의 방향이 일정하게 한쪽으로만 흐른다. 따라서 현재 국내에서 사용하고 있는 22.9kV 배전선로의 보호방식은 가장 기본적이고 간단한 과전류계전방식이며, 이에 대한 내용은 요약하면 다음 Table 4와 같다.

Table 4. 22.9kV distribution line protection in Korea

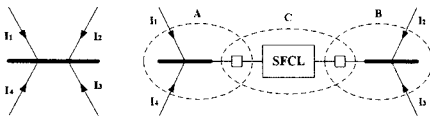
피보호설비		보호방식	자동재폐로
가공선로		과전류계전방식	3상, 2회
지중선로		과전류계전방식	미적용
복합선로	지중 30% 미만	과전류계전방식	3상, 2회
	지중 30% 이상	과전류계전방식	3상, 1회

3. 초전도기기 도입관점 고찰사항

3.1 기존 전력기기 및 초전도기기(변압기, 한류기) 보호

일반적으로 대형 전력기기는 차동계전방식을 사용하고 있는데, 이는 기기에 유출입되는 전류에 따라서 동작하는 방식이기 때문에, 초전도기기가 적용된다 하더라도 기존 전력기기의 보호방식에는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

초전도기기 역시 적절한 보호방식을 채택해야 하는데, 초전도한류기 및 초전도변압기의 보호방식은 기존 상전도기기(발전기, 변압기 등)와 크게 달라질 것이 없을 것으로 보인다. 따라서 초전도 보호방식으로 차동계전방식을 사용할 수 있을 것으로 보인다. 단, 초전도한류기 Bus-Tie 적용시는 기존 모선보호 시스템에 초전도한류기 기기보호 시스템을 추가해야 한다. 즉, 아래 그림과 같이 기존 모선에 초전도한류기를 투입하는 경우, 보호범위는 A, B, C로 나뉘게 되며 이 중 A, B는 모선보호범위이며 C는 초전도한류기 보호범위가 된다.



(a) Conventional Bus (b) Bus with SFCL
Fig 1. Protection Area in case of applying SFCL to Bus-Tie

3.2 초전도한류기 적용 모선보호

기존 모선보호에 영향을 줄 수 있는 초전도기기는 한류기로서, 도입 가능한 방안은 송전선로에 적용하는 경우와 Bus-Tie에 적용하는 경우로 생각할 수 있다. 현재 진행 중인 연구결과를 보면 잠정적으로 Bus-Tie에 적용하는 방안이 기술적/경제적 측면에서 좀 더 효율적으로 나타나고 있다. 따라서 본 논문에서는 초전도한류기를 Bus-Tie에 적용하는 경우에 대해서 정성적으로 검토하였다.

3.2.1 초전도한류기 적용모선 보호방식

국내 154kV 모선보호방식은 주로 위상비교전류차동방식과 전압차동방식을 사용한다. 위상비교전류차동방식은 모선에 연결된 선로의 전류위상차에 의해서 내부고장과 외부고장을 판별하는 방식이며, 전압차동방식은 각 선로의 전류차에 의해서 유기되는 전압에 의해서 고장을 검출하는 방식이다. 따라서, 초전도한류기가 투입된다 하더라도 모선에 유입되는 전류의 절대적 크기는 줄어들 뿐이며, 각 선로를 통해 유입되는 전류위상차 또는 전류차로부터의 유기전압에 의한 계전기 오동작은 없을 것

로 판단된다.

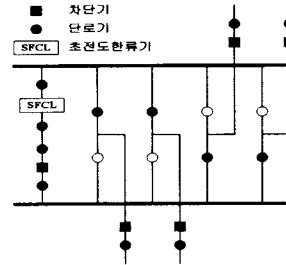


Fig 2. SFCL application in double Bus

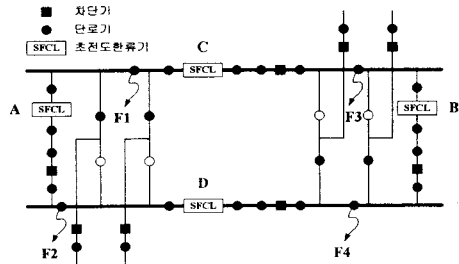


Fig 3. SFCL application in double 4 bus

3.2.2 초전도한류기 Bus-Tie 적용방안

국내 실계통에서 일반적인 154kV 모선은 보통 2중 모선과 2중 4부스타이모선 구성되어 있다. 이러한 154kV 모선에서 초전도한류기 적용가능 방안으로 Fig 3, 4와 같이 차단기와 직렬투입을 생각할 수 있다. 그 이유는 이렇게 차단기와 직렬로 SFCL을 투입하는 경우가 고장전류 저감효과가 크기 때문이다. 특히, Fig 3과 같은 모선의 경우, SFCL의 적용방안(위치)으로서 적합한 것은 A와 B 위치에 SFCL 동시적용이다. Fig 3에서 모선고장 가능지점으로 F1 ~ F4를 생각할 수 있는데, SFCL 1과 SFCL 2를 동시적용하는 경우 모든 고장에 대해서 고장전류 중 50%분에 해당하는 고장전류에 대해서 저감효과를 얻을 수 있다.

3.3 154kV 송전선로 보호방식에서의 고찰사항

본 절에서는 154kV 송전선로 보호방식에서 초전도기기에 의한 영향을 정성적으로 고찰하였다. 특히, 초전도한류기에 의한 영향이 클 것으로 예상되므로 이를 중점적으로 검토하였다. 세부 검토사항은 다음과 같다.

3.3.1 자동재폐로 관점 고찰

현재 국내에서 개발 중인 초전도한류기의 recovery time은 수 초이다. 154kV 실계통에서 자동재폐로 시간인 0.3초(18cycle)를 고려한다면, 초전도한류기의 recovery time에 의한 문제발생 소지가 있으므로 재폐로가 필요한 가공선로에는 초전도한류기 적용에 어려움이 있을 것으로 판단된다. 따라서 자동재폐로 측면을 고려한다면, 초전도한류기 적용방안은 Bus-Tie 적용과 지중선로 적용을 생각할 수 있다.

3.3.2 보호방식에 다른 고찰사항

Table 3에서 국내 154kV 송전선로 보호방식에 대해서 간략히 요약하여 나타내었다. 여기에서는 주보호와

후비보호로 채택하고 있는 보호방식에 따른 초전도기기 도입관점 고찰사항을 기술하였다.

1) 방향비교 트립저지 방식 (주보호 방식)

방향비교 트립저지방식에서 고장위치 판단시에 Zone-2 또는 Zone-3를 사용하지만, 고장위치는 내부(자기구간) 와 외부만으로 구분된다. 자기구간 밖(외부)에서 고장이 발생했을 때, Bus-Tie에 적용된 초전도한류기의 임피던스가 고장임피던스에 영향을 주므로 고장 위치를 정확히 판단할 수 없을 가능성이 있다. 그러나 방향비교 트립저지방식에서는 고장위치가 내부(자기구간)인지 또는 외부인지만을 판단하고 상대단으로부터 고장정보를 수신받아서 최종적으로 고장위치를 판단하므로, 외부(자기구간 밖)에서 고장이 발생하였을 때의 고장위치 판단오류는 큰 문제가 되지 않을 것으로 보인다.

2) PCM전송 전류차동방식 (주보호 방식)

PCM 전류차동방식은 보호구간의 고장전류 크기와 방향으로서 고장구간을 판단하므로 초전도한류기 임피던스 변화에 따른 계전기의 오동작은 없을 것으로 판단된다.

3) 3단계 한시거리계전방식 (후비보호 방식)

후비보호 방식에서 고려한 초전도한류기 적용위치는 3.3.1절에서 검토한 결과를 기본으로 하여 지중선로 적용과 Bus-Tie 적용으로 가정하고, 이에 대한 정성적 검토를 수행하였다.

○ SFCL 지중 송전선로 적용

초전도한류기를 지중송전선로에 적용하는 경우는 고장이 발생함에 따라 한류기의 임피던스가 변화하므로 후비보호의 방향거리계전기 내부임피던스 정정시 초전도한류기의 임피던스를 고려해야 한다.

- 거리계전기 내부정정임피던스
: $Z_s = Z_{Line} + Z_{SFCL}$

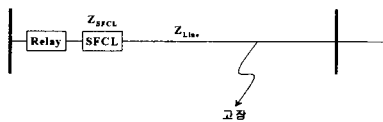


Fig 4. SFCL application to underground transmission line

○ SFCL Bus-Tie 적용

모선에 초전도한류기를 적용하므로 Zone-1 (85%) 내의 고장 발생시, Zone-1의 송전선로 임피던스 변화는 없다. 따라서 Zone-1(85%)내의 사고는 거리계전기 동작에 이상이 없을 것으로 판단된다. 그러나 계전기가 있는 선로의 상대 모선에 초전도한류기가 투입되어 있는 경우, Zone-2(150%) 및 Zone-3(225%) 내의 고장 발생시 계전기의 오동작이 있을 것으로 예상된다. 즉, Fig 5와 같은 경우, 계전기가 임피던스를 측정할 때, Zone-2, 3에서는 초전도한류기의 Quenching 임피던스를 포함하게 되므로 계전기가 고장위치를 더 먼 곳으로 인식할 가능성이 있다. 따라서 이러한 경우, 초전도한류기의 임피던스를 고려한 계전기의 정정이 필요할 것

으로 보인다.

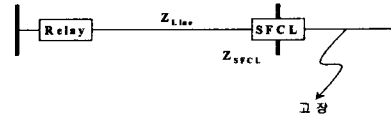


Fig 5. SFCL application to Bus-Tie

3.4 22.9kV 배전선로 보호방식에서의 고찰사항

초전도기기가 국내 배전계통에 도입되는 경우, 기존 배전선로의 보호협조부분과 크게 상충되는 부분은 없을 것으로 판단된다. 즉, 배전선로의 보호에는 고장전류 크기에 의해서 고장을 검출하는 과전류계전방식을 주로 사용하고 있으므로, 고장 발생시 초전도기기의 Quenching 저항에 의한 문제는 없을 것으로 예상된다. 단, 초전도케이블 등의 기기가 도입된다면, 계통구성 및 계통임피던스 변화에 의해 고장전류의 크기가 변화하므로 이를 고려하여 과전류계전기에서 적절한 정정이 필요할 것으로 사료된다. 또한, 향후, 배전계통에 초전도기기 도입이 활성화 되어 새로운 신배전계통 개념으로 발전된다면, 거리계전방식이 도입될 가능성이 있다. 이러한 경우에는 배전선로 보호방식에서도 송전선로 보호방식과 마찬가지로 초전도기기의 Quenching 저항을 고려한 거리계전기 정정이 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 논문은 초전도기기의 계통적용시 계통측면에서 기존 보호협조 시스템과의 상이점 및 보완방안에 대해서 보호협조의 개념만을 원용하여 검토한 것이다. 따라서 본 결과는 초전도기기의 계통적용을 위한 계통보호관점 기초검토로서 향후 지속적인 검토가 필요할 것이다. 기본 검토결과를 요약하면 다음과 같다.

○ 송전선로 보호

- 국내 송전선로의 주보호에 주로 사용하고 있는 방향비교 트립저지방식에서 초전도기기에 의한 보호협조시스템에의 영향은 그다지 크지 않을 것으로 예상된다. 단, 내부 및 외부고장위치를 판단할 때 사용되는 거리계전기의 Zone-2 및 Zone-3의 저항 setting은 정정해야 할 것으로 판단된다.
- 후비보호에서 초전도한류기의 Quenching 저항 고려한 계전기 정정이 필요할 것으로 판단된다.

○ 배전선로 보호

- 배전선로는 과전류계전방식을 주로 사용하고 있으며, 초전도기기 도입시 보호시스템은 큰 차이가 없을 것으로 예상된다.
- 단, 초전도기기 도입에 의한 계통구성 및 계통임피던스 변화에 의한 고장전류 크기가 변화하게 되므로 이를 고려한 계전기 정정이 필요할 것으로 판단된다.

○ 모선 및 기타 기기보호

- 모선 및 기타 기기는 차동계전방식을 사용하고 있다. 이는 전류크기나 위상을 비교하여 동작을 하는 방식이므로, 초전도기기 도입에 의한 큰 영향은 없을 것으로 보인다. 모선보호 시스템에서 초전도한류기 보호시스템이 추가되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

“본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.”

[참 고 문 헌]

- [1] M. Noe, B. R. Oswald, "Technical and economical benefits of superconducting fault current limiters in power systems," IEEE Transactions on applied superconductivity, 1999.6
- [2] M. Sjostrom, D. Politano, "Technical and Economical Impacts on a Power System by Introducing an HTS FCL", IEEE Trans on Applied Superconductivity Conference, Sept. 2000
- [3] Hak-Man Kim, Jong-Yul Kim, "Feasibility Study of Superconducting Fault Current Limiter Application to Korean Power System", Journal of the Korea Institute of Applied Superconductivity and Cryogenics, Vol. 5, No. 1, 2003
- [4] 윤재영, 김종율, 이승렬, "저항형초전도한류기 과도특성을 고려한 EMTDC 모델개발", 한국초전도·저온공학회는문지, 5권 2호, 2003. 9
- [5] 이승렬, 김종율, 윤재영, "국내 수용가계통에서의 초전도한류기 적용가능성 검토", 한국초전도·저온공학회는문지, 6권 3호, 2004. 9
- [6] Hideyuki Kameda, Haruhito Taniguchi, "Setting Method of Specific Parameters of a Superconducting Fault Current Limiter Considering the Operation of Power System Protection - Resistance-type and Rectifier-type SFCLs in Overhead Transmission Systems - ", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 9, No. 2, June 1999
- [7] Shawn Henry, Thomas Baldwin, Michael Steurer, "The Effects of a Fast Switching Fault Current Limiter on Distance Protection", IEEE Transactions
- [8] 한국전력공사 중앙교육원, 보호계전기실무 I
- [9] 한국전력공사 중앙교육원, 보호계전기실무II
- [10] 한국전력공사 중앙교육원, 전력계통보호 I
- [11] 한국전력공사 중앙교육원, 전력계통보호 II
- [12] 신대승, 보호계전 시스템기술