

국내 실계통에서의 22.9 kV 초전도케이블/한류기 시범적용을 위한 보호시스템 설계

Protection system for the application of 22.9 kV HTS cable and FCL to real power grid in Korea

이승렬^{1*}, 윤재영², 양병모³

Seung Ryul Lee^{1*}, Jae-young Yoon², Byongmo Yang³

Abstract: 22.9 kV HTS cable and FCL will be installed in 154 kV Icheon substation. It is necessary to design a protection system of the substation for a successful application of the HTS devices. This paper proposes a new power protection system for the application of 22.9 kV HTS cable and SFCL to 154 kV Icheon substation in Korea.

Key Words: HTS cable, SFCL, protection system.

1. 서 론

초전도 전력기기는 친환경, 대용량, 저손실 등의 장점으로 기존 상전도기기를 대체할 수 있는 대안 중 하나로 주목받고 있다. 특히 대용량/소규모의 초전도케이블은 전 세계적으로 가장 활발하게 개발되고 있으며 일부 선진국에서는 실계통 시범적용을 진행 중에 있다 [1-4]. 초전도한류기 역시 대도심의 고장전류 문제를 해결할 수 있는 대안으로 다양한 개발연구가 완료 또는 진행 중에 있다 [3-6]. 이러한 전 세계적인 흐름에 맞추어 국내에서도 22.9 kV급 초전도케이블과 초전도한류기를 개발하여, 한전 고장시험센터에서 장기 실증시험을 완료하였다 [7]. 현재는 이천변전소 내에 22.9 kV 초전도케이블 및 초전도한류기를 설치하여 일부하 운전을 추진 중에 있다 [8]. 본 연구에서는 실계통 내의 초전도케이블/한류기의 성공적인 시범적용을 위해서, 이천변전소 내 보호시스템 구성 (안)을 제안하였다.

2. 초전도기기 시범적용사업 개요

2.1. 적용변전소

2009년 초 22.9 kV 초전도케이블 및 초전도한류기 적용을 위한 154 kV 후보변전소 682개소에 대해서 상세 기술검토를 수행하였다. 그 결과, 초전도기기 적용 대상 변전소로서 최종적으로 이천변전소를 선정하였다

[8]. 그 이후, 상세 검토를 통하여 초전도케이블 적용 변압기는 #5, 초전도한류기 적용 피더는 #1 변압기에 연결되어 있는 장평D/L로 최종 결정하였다. 이천변전소 및 초전도기기 적용 개념도를 그림으로 나타내면 Fig. 1과 같다. Fig. 1와 같이, 초전도기기용 개폐설비로서 기존 GIS보다 친환경적인 설비인 SIS (Solid Insulated Switchgear)를 도입할 예정이다.

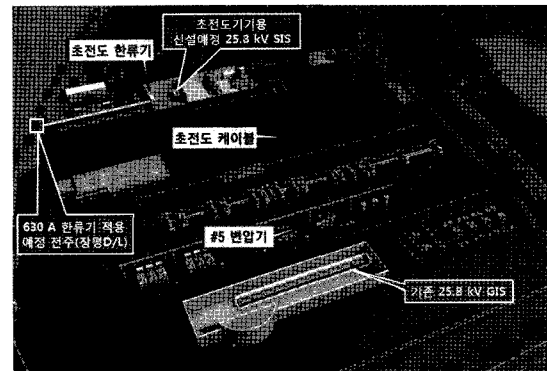


Fig. 1. 154 kV Icheon substation.

2.2. 적용기기 및 적용위치

시범적용 대상 초전도 전력기기 및 이천변전소 내 설치위치를 요약하면 아래와 같으며, Fig. 2는 이천변전소 내 초전도기기 설치 단선도를 나타내었다.

- 22.9kV 50 MVA / 500 m 초전도케이블 및 3 kA급 초전도한류기 → (설치위치) #5 주변압기 2차측
- 22.9 kV 630 A 초전도한류기 → (설치위치) #1 주변압기 연결 장평D/L 인출단

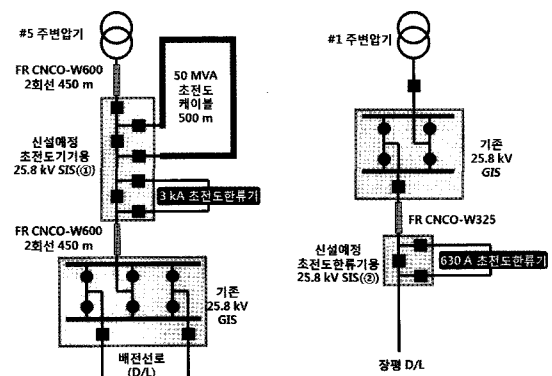


Fig. 2. Application of HTS cable and FCL.

¹정 회 원 : 한국전기연구원 선임연구원
²정 회 원 : 한국전기연구원 책임연구원
³정 회 원 : 한국전력공사 전력연구원 선임연구원
 *교신저자 : srlee@keri.re.kr
 원고접수 : 2010년 07월 26일
 심사완료 : 2010년 08월 24일
 게재확정 : 2010년 09월 02일

3. 보호시스템 설계 개요

3.1. 보호시스템 구성 기본전제

이천변전소 설계용 적용연구는 초전도기기의 상용화를 위한 전 단계로서 시범적용의 성격이 강하기 때문에, 초전도기기 대체설비를 적용하고 기존 배전계통의 보호시스템을 가능한 수정하지 않는 범위 내에서 초전도기기 보호시스템 설계 (안)을 검토하였다. 초전도케이블/한류기의 이천변전소 적용을 위한 보호시스템 구성시 고려한 기본 전제사항은 아래와 같다.

- 대체설비 적용
 - 초전도기기 고장 및 유지보수를 고려한 대체설비 (차단기) 병렬적용.
 - (정상상태) Backup 차단기 개방(open) & 초전도케이블/한류기 운전.
 - (비상/유지보수시) Backup 차단기 투입(close) & 초전도기기 분리.
 - 계통상태 변화시(정상상태 ↔ 고장발생) 초전도기기와 Backup 차단기의 운전상태 자동전환 시퀀스 적용.
- 기존 배전계통 보호시스템 미 수정
 - 기존 상전도 전력기기의 보호시스템은 가능한 기존 시스템 그대로 적용하는 것을 원칙으로 함.
 - 단, 필요에 따라서 초전도기기를 고려한 계전기 정정은 필요.
- 설비별 보호구간 구분
 - 초전도기기와 기타 설비(변압기, 추가 CNCO 케이블, 신설SIS(차단기 포함) 등)의 순시/한시보호구간을 구분하여 적용.
 - 신설 예정인 주변압기-신설SIS 연결선로(CNCO600 2회선 450 m) 보호는 주변압기 보호구간에 포함시켜서 보호.

3.2. 이천변전소 보호방식 고찰

본 절에서는 초전도케이블과 초전도한류기를 포함한 이천변전소의 보호방식에 대해서 고찰하였다. 초전도기기 및 상전도기기의 기본 검토결과를 요약하면 다음과 같다.

- 초전도케이블/한류기 보호방식
 - (주보호) 전류차동계전방식(87)
 - 초전도한류기/케이블 자체사고 보호대책.

- 내부고장을 검출 할 수 있는 전류차동보호계전방식(87) 적용.
- (후비보호) Thermal protection, 주변압기 후비보호에 포함.
- (주 변압기 후비보호) 배전기자재는 기본적으로 후비보호 개념 없음. 주 변압기 후비보호(51)로 초전도케이블/한류기 보호 가능함. 단, 주변압기 후비보호용 계전기 정정시 초전도케이블과 초전도한류기를 고려한 고장전류를 기준으로 한 정정이 필요함.
- (Thermal protection) 온도변화를 고려한 초전도기기 보호, 냉각시스템 이상시, 또는 고장전류 통전으로 인한 임계온도 이상으로 온도상승시 동작. (예, 1단계 : 정상상태, 2단계 : 주의단계(온도상승), 3단계 : 비상상태(한계온도 초과) → 초전도기기 개방 & Backup 설비 투입).
- (재폐로 동작) 초전도기기를 위한 재폐로 동작은 미적용 원칙.
 - 초전도기기의 재폐로 동작은 미적용.
 - 단, 630 A 초전도한류기 적용대상 배전선로(장평D/L)는 가공선로 구성비가 70 %이상인 경우이므로 배전선로 자체의 재폐로동작은 기존과 동일하게 적용.
- 상전도 전력기기 보호방식
 - 초전도기기와 상전도기기의 보호구간 구분 필요.
 - 기존 상전도기기 및 신설설비(초전도기기용 25.8 kV SIS, 초전도기기 연결용 CNCO 케이블 등)는 기존 보호방식 그대로 적용.
 - 주변압기 보호범위를 신설 설비(주변압기-신설SIS 연결선로)까지 확장하여 적용.

4. 50 MVA / 500 m급 초전도케이블 및 3 kA 초전도한류기 보호시스템 구성(안)

22.9 kV 50 MVA급 초전도케이블 500 m와 3 kA급 초전도한류기의 보호시스템을 요약하면 Table 1과 같으며, 전체적인 개요를 그림으로 나타내면 Fig. 3과 같다. #5 주변압기 보호용 차동계전기 적용시, 변압기-신설SIS 간 거리가 약 450 m (CNCO600 케이블 2회선)이므로, CT/계전기 제어케이블 선정 및 CT 부담 계산시 450 m의 거리를 고려하여 선정해야 한다.

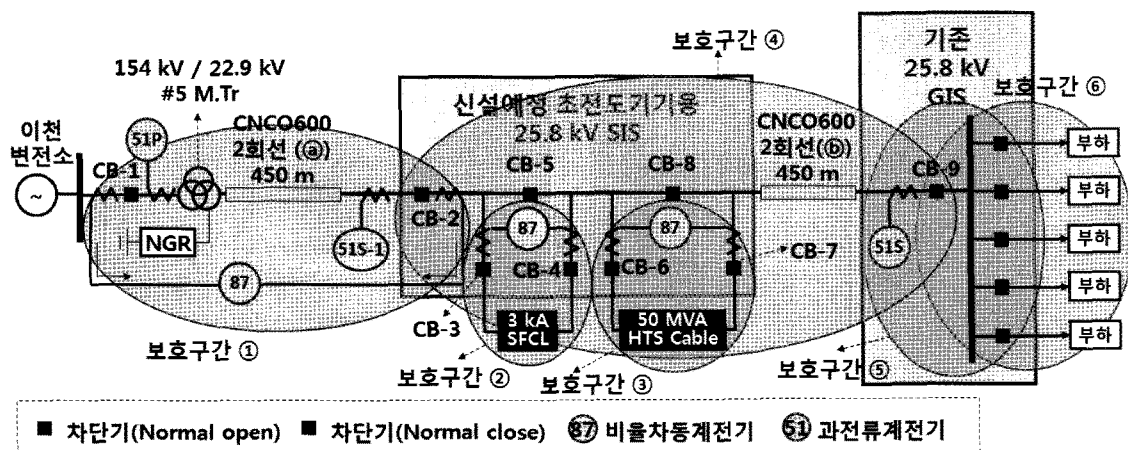


Fig. 3. Protection system of 22.9 kV 50 MVA HTS cable and 3 kA SFCL in 154 kV Icheon S/S.

Table 1. Power system protection of 22.9 kV HTS cable and 3 kA SFCL in Icheon S/S.

피보호 기기		보호 구간	보호계전기
초전도 전력 기기	3 kA 초전도한류기	② (순시)	(주보호-순시) - 전류차동계전기(87) (후비보호-한시) - 과전류계전방식 : #5 주변압기의 후비 보호기기인 과전류계전기(51P, 51S-1)로 초전도기기 한시 보호 가능
	50 MVA 초전도케이블	③ (순시)	- Thermal protection 적용 (자동재폐로) 미적용
상전도 전력 기기	#5 주변압기	① (순시)	(주보호-순시) - 전류차동계전기(87) (후비보호-한시) - 과전류계전기(51) * 주변압기 주(순시)보호 구간을 주변압기-신설SIS 연결선로(㉓) CNC0600 케이블 까지 확장
	변압기-신설SIS 연결선로(㉓)		
	신설 25.8 kV SIS 신설SIS-기존GIS 연결선로(㉔)	④ (한시)	- 순시보호 미적용 - 변압기후비보호용 과전류계전기(51S-1) 추가 및 한시보호
	기존 25.8 kV GIS 기존 배전선로	⑤ (한시) ⑥ (순시)	- 순시보호 미적용 - 기존에 설치되어 있는 주변압기 후비보호용 과전류계전기(51S)로 한시보호 (순시/한시보호) 과전류계전기(50/51)

Table 2. Power system protection of 22.9 kV 630 A SFCL in Icheon S/S.

피보호 기기		보호 구간	보호계전기
630 A 초전도한류기		① (순시)	전류차동계전기(87)
상전도 전력 기기	기존GIS-전주-신설SIS 연결용 CNC0325(㉓)	② (순시/한시)	과전류계전기(50/51) * 순시요소 시간지연 적용 가능
	630 A 초전도한류기용 신설 25.8 kV SIS 장평D/L(인출단-R/C단)		
	장평D/L(R/C단-말단)	③	리클로저(R/C)

5. 630 A 초전도한류기 보호시스템 구성(안)

22.9 kV 630 A급 초전도한류기의 보호시스템을 요약하면 Table 2와 같으며, 전체적인 개요를 그림으로 나타내면 Fig. 4와 같다.

이 경우, 보호구간 ①에서 계통고장 발생시, 보호구간 ①과 ②의 중첩문제가 발생할 수 있으나, 아래와 같은 장평D/L의 재폐로 동작 시퀀스를 통해서 극복이 가능할 것으로 판단된다.

- 보호구간 ① 고장(초전도한류기 내부 고장) 발생.
 - 보호구간 ①의 장평D/L 보호용 과전류계전기와 보호구간 ②의 초전도한류기 보호용 차동계전기가 동시에 자기구간 고장으로 감지.
 - 장평D/L 재폐로 동작시 초전도한류기 계통분리 및 Backup 설비(CB-4) 투입으로 고장제거.
 - 장평D/L 재폐로 동작 후 정상운전.

단, 초전도한류기 보호용 차동계전기의 순시동작시간을 고려하여, 장평D/L 보호용 과전류계전기의 순시동작에 약간의 시간지연을 둘 필요가 있을 수도 있다. 결국, 본 사례의 경우, 장평D/L의 재폐로 동작시 과전류계전기의 순시동작 시간지연에 따라서, 실제 부하가 다소 긴 순간정전을 경험할 수 있다는 단점은 있지만, 현실적으로 가장 효율적인 방안이라 할 수 있다.

6. 맺 음

본 연구는 2010년 하반기 이천변전소에 설치·운용될 22.9 kV 초전도케이블 및 초전도한류기의 보호시스템 구성(안)을 제안하였다. 현재 제안된 구성(안)을 토대로 이천변전소 내 보호시스템을 포함하여 초전도기기용 SIS를 설계하고 있다. 향후, 실계통에서 발생할 수 있는 다양한 고장사태에 대해서 PSCAD/EMTDC를 이용한 상세 보호협조 검토를 수행하여, 그 결과를 바탕으로 최종 보호시스템 설계(안)을 도출할 계획이다. 초전도기기를 설치 후, 일부하 운영을 통해서 본 보호시스템의 신뢰성을 확인할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2009년도 지식경제부의 재원으로 한국 에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

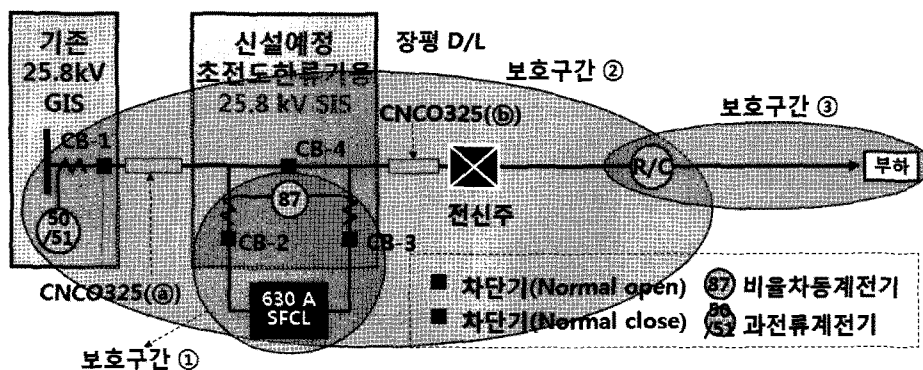


Fig. 4. Protection system of 22.9kV 630A SFCL in 154kV Icheon S/S.

참 고 문 헌

- [1] James Maguire, Doug Folts, Jie Yuan, David Lindsay, Dave Knoll, Shawn Bratt, Zack Wolff, and Steve Kurtz, "Development and Demonstration of a Fault Current Limiting HTS Cable to be Installed in the Con Edison Grid", IEEE Transactions on applied superconductivity, Vol. 19, No. 3, pp. 1740-1743, June 2009.
- [2] James F. Maguire, Frank Schmidt, Shawn Bratt, Tom E. Welsh, and Jie Yuan, "Installation and Testing Results of Long Island Transmission Level HTS Cable", IEEE Transactions on applied superconductivity, Vol. 19, No. 3, pp. 1692-1697, June 2009.
- [3] DOE Peer Review, 2009.
- [4] Songtao Wu, Yu Wu, Yuntao Song, Weiyue Wu, Yanfang Bi, Weibin Xi, Liye Xiao, Qiuliang Wang, Yanwei Ma, Xianghong Liu, Pingxiang Zhang, Yin Xin, Bo Hou, Rui Liu, Hongjie Zhang, Zenghe Han, Jun Zheng, Jiasu Wang, Suyu Wang, Jing Shi, Yuejin Tang, Ming Qiu, Bin Wei, and Yunfei Tan, "Recent Main Events in Applied Superconductivity in China", IEEE Transactions on applied superconductivity, Vol. 19, No. 3, pp. 1069-1080, June 2009.
- [5] Ndeye K. Fall, and Brian Marchionini, "Fault Current Limiter -R&D Status and Testing Issues", IEEE Power System Conference and Exposition, pp. 1-4, 2009.
- [6] M. Noe, M. Steurer, S. Eckroad, and R. Adapa, "Progress on the R&D of Fault Current Limiters for Utility Applications", Power and Energy Society General Meeting, pp. 1-4, 2008.
- [7] Gyeong-Ho Lee, Kwon-Bae Park, Jungwook Sim, Young-Geun Kim, Il-Sung Oh, Ok-Bae Hyun and Bang-Wook Lee, "Hybrid Superconducting Fault Current Limiter of the First Half Cycle Non-Limiting Type", IEEE Transactions on applied superconductivity, Vol. 19, No. 3, pp.1888-1891, June 2009.
- [8] 양병모, 원영진, 김병현, 강지원, 윤재영, 이승렬, 문영현, "초전도케이블/한류기 실계통 적용 변전소 및 설치위치 선정 기술검토", 한국초전도저온공학회논문지, 11권, 3호, pp.55-59, 2009년 9월.

저 자 소 개



이승렬(李昇烈)
 1975년 9월 23일생, 1999년 고려대학교 전기공학과 졸업, 2001년 동대학원 전기공학과 졸업(석사), 2010년 동대학원 전기공학과 졸업(박사), 현재 한국전기연구원 스마트그리드연구본부 Smart Grid 연구센터 선임연구원.



윤재영(尹在暎)
 1962년 7월 30일생, 1985년 부산대학교 전기공학과 졸업, 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1994년 기술사(발송배전), 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박), 현재 한국전기연구원 스마트그리드연구본부 Smart Grid 연구센터 책임연구원.



양병모(梁炳模)
 1969년 4월 24일생, 1995년 연세대학교 전기공학과 졸업, 1997년 동대학원 전기공학과 졸업(석사), 1997년 한전 전력연구원 입사, 현재 한국전력공사 전력연구원 송배전연구소 선임연구원.