

초전도케이블 계통의 상정사고에 대한 보호협조 연구

이현철*, 이근준** 백영식*, 양병모***
 경북대*, 충북도립대**, 한국전력연구원***

A protective coordination of HTS cable power system using EMTP-RV

Hyun-Chul Lee*, Geun-Joon Lee**, Young-Sik Baek*, Beung-Mo Yang***
 Kyoung Book University*, Chung Buk Provin. College**, Kepri***

Abstract - This paper proposed protective coordination on HTS(High Temperature Superconducting) cable on 22.9kV distributed system. HTS cable transient model is developed and tested using EMTP-RV, system protective coordination is studied with ETAP. Possible contingency and protective scheme are considered real distribution system in Icheon substation. The simulation results was showed, in protective case to apply conventional relay, that appeared problem on HTS cable inner part. The HTS cable couldn't protection on contingency state of power system. It was using high-speed relay system instead of conventional relay system. Then, the HTS cable was protected contingency by circuit breaker.

1. 서 론

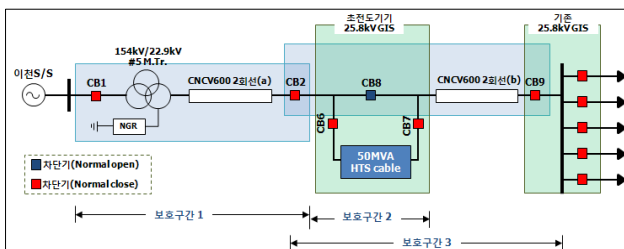
최근 전력에너지의 지속적인 증가와 인구의 도시집중화에 의해 보다 높은 밀도의 전력 수송수단을 필요로 하고 있다. 이러한 전력수요를 충족시키기 위한 전력용량 또한 증가하고 있지만 송전선로 및 배전선로의 추가설치는 경로선정 문제가 난제로 되어 있는 도심지 현실을 감안하면 불가능하다는 것이 일반적이다.

이러한 문제를 해결할 수 있는 하나의 대안으로 대용량(저전압 고전류) 송전이 가능한 초전도케이블이 대두되고 있다. 그러나, 초전도케이블은 기존의 케이블과는 다른 전류특성 및 온도특성을 가지고 있다[1]. 따라서, 기존의 전력계통에 초전도케이블이 병입될 경우, 계통상 발생 가능한 상정사고에 대해 초전도케이블과 전력계통의 보호협조를 검토할 필요가 있다[2]. 본 논문은 22.9kV의 기존 전력계통에 초전도케이블의 병입시 보호협조를 검토하기 위하여, ETAP와 EMTP-RV를 이용하여 계통의 상정사고와 초전도케이블의 내부사고에 대한 보호협조를 통하여 초전도케이블을 검토하였다.

2. 본 론

2.1 22.9kV 초전도케이블의 병입

다음 그림은 기존의 계통의 모선에 초전도케이블 설치에 따른 보호구간별 보호협조 단선도이다. 보호구간은 M.Tr, 기존의 선로, 초전도케이블에 따라 3개의 보호구간으로 구분하였다[1-2].



<그림 1> 기존계통에 초전도케이블 병입에 대한 단선도

초전도케이블이 계통에 병입되어 운전하는 경우, 계통에서는 초전도케이블이 기존의 일반 케이블과 같은 설계를 원할 것이다. 따라서, 초전도케이블이 병입된 계통에 대하여 기존의 계통 각 부분에서 발생하는 고장에 대해, 해당 고장전류의 값이 계통을 구성하고 있는 각 기기들의 정격을 초과하지 않도록 보호시스템이 동작해야 한다.

다음 표 1은 초전도케이블의 병입에 따른 보호협조검토를 위한 기존의 계통의 전원 및 M.Tr.값이다.

<표 1> 변전소 전원 및 M.Tr.의 특성

최소 임피던스(%)			3상단락(MVA)		1선지락(MVA)	
정상	역상	영상	용량	위상	용량	위상
0.105+ j1.146	0.107+ j1.149	0.527+ j2.90	9646.652	-84.92	6345.74	-82.05

변압기	결선		%IMP / 기준용량(MVA)						
			1-2차		2-3차		3-1차		
	1차	2차	3차	%IMP	용량	%IMP	용량	%IMP	용량
#5	Y	Y	△	14.40	45.0	2.60	15.0	8.20	15.0

2.2 초전도케이블계통의 보호협조

EATP와 EMTP-RV를 이용하여 기존의 계통의 보호협조와 초전도케이블의 병입시의 보호협조를 검토하였다. 다음 표는 초전도 및 기존 기기들이 고장에 대해 보호검토하기 위해 보호구간 및 협조조건을 다음과 같이 설정하였다.

<표 2> 보호협조 검토를 위한 보호구간

구간	보호 대상	보호 계전기	보호협조 조건
1	154kV/22.9kV V #5M.Tr	OCR, OCGR, 87T	- M.Tr 2차측 단락 및 지락 : OCR, OCGR의 한시협조에 의해 보호.(1차보호는 순시 적용) - 변압기 내부고장 : 87T 적용
2	50MVA HTS cable	OCR, OCGR, 87, 온도계전	- HTS cable 2차선로의 고장 : OCR, OCGR에 의한 과전류 보 호 - 내부고장 : 87에 의한 보호
3	#5M.Tr. 2차 ~배전선로의 접속	OCR, OCGR	- 배전선로에서의 고장 - 배전선로 고장의 후비보호 - 기기 및 모선의 후비과전류보호

2.3 초전도케이블 계통의 보호를 위한 모의실험

계통에 초전도케이블 병입시 계통의 보호를 위해 정정치가 외란에 대해 각 보호구간에서 정확하게 동작함과 동시에 타구간의 시간 협조가 가능한지 검토할 필요가 있다. 변전소의 초전도기기 적용계통 보호협조 검토를 위하여 고장개소, 고장종류를 선정하고, 최대 고장전류에 의한 영향을 검토하기 위하여 고장임피던스는 0으로 가정하였다.

초전도케이블 보호는 외부사고 및 내부사고에 대한 보호는 다음 식을 이용하였다.

$$t_{trip} = \left(\frac{A}{(I/I_p)^\alpha - 1} + B \right) \quad \text{식(1)}$$

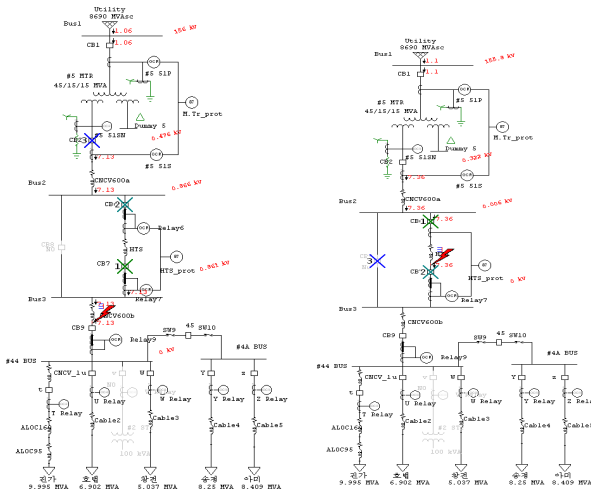
여기서, t_{trip} 는 과전류특성에 대한 협조시간이고, I 는 초전도 전류, I_p pick up전류, A, α, B 는 상수이다.

$$\epsilon[\%] = \left| \frac{I_{d1} - I_{d2}}{I_{d1}} \right| \times 100 \quad \text{식(2)}$$

여기서, ϵ 는 케이블 입/출력차이이고, I_{d1}, I_{d2} 는 입/출력전류이다.

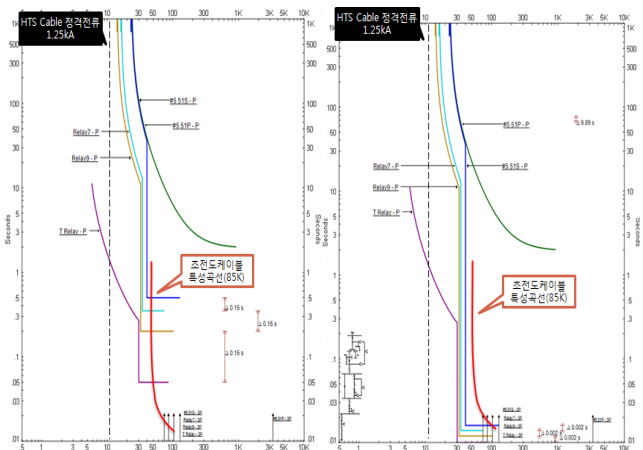
2.3.1 EATP를 이용한 보호협조 모의실험

다음 그림은 EATP를 이용하여 초전도케이블의 외부사고 및 내부사고에 대한 Sequence를 나타낸 것이다. 그림2의 (a)는 초전도케이블의 외부사고, (b)는 내부사고에 대해 나타낸 것이다. 외부사고는 51/51G에 의해 보호를 하며, 내부사고는 87에 의해 보호하도록 하였다.



(a) 외부사고에 대한 보호 (b) 내부사고에 대한 보호
 <그림 2> 초전도케이블의 사고에 대한 보호 Sequence

다음 그림은 초전도케이블의 3상 단락고장에 따른 보호협조에 대해 나타낸 것이다. 초전도케이블은 전류 및 온도에 따라 특성이 변화한다. 그림(a)는 계통의 보호협조규정에 따른 보호결과를 나타낸 것이고, 그림(b)는 초전도케이블의 특성에 따른 보호를 나타낸 것이다.



(a) 협조시간에 의한 보호 (b) 초전도케이블 특성에 의한 보호
 <그림 3> 초전도케이블 계통의 보호협조 Curve

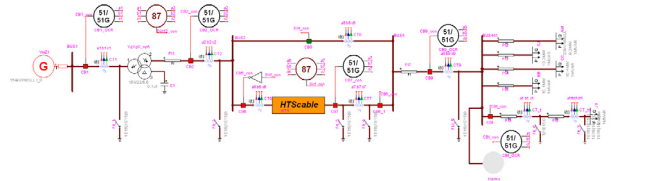
그림에서 보듯이 계통의 초전도케이블의 설치에 따른 보호를 위해서는 고속도계전기 또는 한류기를 이용하여 보호하도록 하여야 한다. 다음 표 3은 ETAP를 이용하여 초전도케이블의 보호협조에 대한 계전기를 설정값을 나타낸 것이다.

<표 3> 초전도케이블 보호협조에 대한 계전기설정

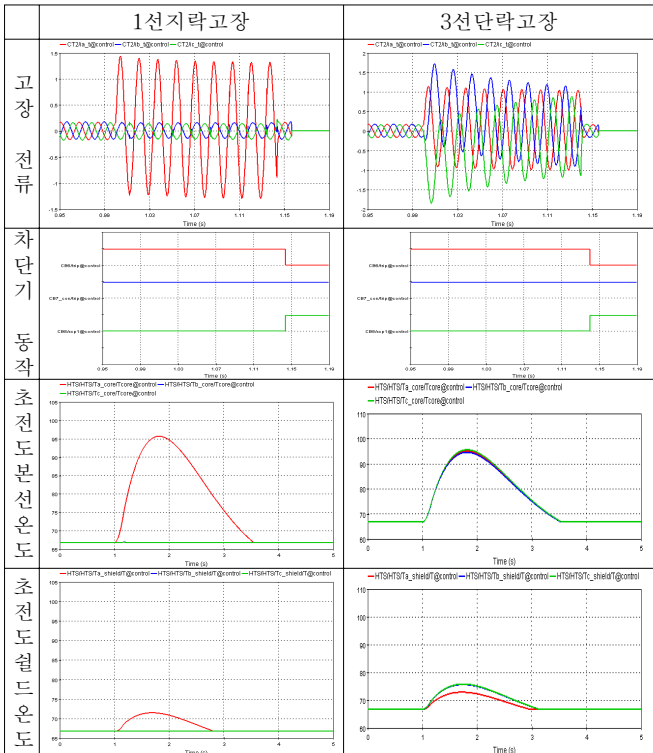
사고위치	사고 내용	고장 전류		계전 방식						
		3LG	1LG	51			51G			87 동작[s]
				Tap	Lev	Tap	Tap	Lev	Tap	
CB1~M.Tr.	154kV 모선	34.208	24.429	4.3	1.8	35	2	10		
M.Tr.~CB2	M.Tr. or 모선	7.951	7.145	5.7	1.7	10	2.2	8	18	0.02
CB6~CB7	초전도케이블 내부	7.358	6.720	4.0	1.0	8.5	2	6	15	0.02
CB7~CB9	22.9kV 모선	7.128	6.552	3.5	1.0	8.0	1.8	4	13	
		6.901	6.399	4	1.2	25	2.5	3.8	17.5	
CB9~	근단	6.901	6.399							
	원단	1.261	0.728							

2.3.2 EMTP를 이용한 보호협조 모의실험

다음 그림은 EMTP-RV를 이용하여 초전도케이블의 사고(1선지락 및 3상단락)에 대한 보호협조를 위한 고장전류와 이에 따른 차단기의 동작 시간과 초전도케이블의 온도특성을 나타내었다.



<그림 3> 초전도케이블계통의 보호협조 Modeling



<그림 4> 초전도케이블의 고장에 따른 특성

3. 결 론

실제 계통에서는 초전도케이블의 높은 가격과 보호계전기의 부동작/오동작에 따른 후비보호의 필요성을 고려하면 강화된 보호가 필요하다. 본 연구에서는 배전용 초전도케이블이 적용된 계통에 대하여 고온 초전도체의 열/전류특성이 기존 도체의 특성과 상이함으로 인하여 발생하는 현상을 고려하여 일반적으로 적용되는 배전계통의 보호계전방식에 대한 적용 가능성을 검토해 보았다. 그 결과, 고속으로 제어 가능한 고속계전을 이용한 설정으로 시간협조를 통한 협조보호가 가능함을 보였다.

따라서 시험결과를 바탕으로 초전도 기기 계통보호시스템 설계를 위해 계통보호에 연관된 열적, 기계적 데이터의 실시간 반영이 가능한 모니터링-제어D.B., 열적 변화에 민감한 초전도 기기들의 보호를 위한 디지털계전 알고리즘의 도입, 내부의 순간온도상승을 검출할 수 있는 진단방식의 개발과 도입, 온도의 영향 검출 및 온도에 따른 초전도기기 운전의 안전성 관정을 위한 계산 및 경험적 데이터의 확보가 더욱 필요하며, 이를 이용하여 기존의 계통보호를 기반으로 한 초전도계통 보호시스템의 설계검토가 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 지식경제부의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

[1] 이현철, 양병모, 이근준, "초전도케이블이 병입된 계통의 고장에 대한 보호협조 검토기법", 대한전기학회, 제60권 제4호, 700-704, 2011
 [2] 이근준, 이현철, 황시돌, 양병모, "실계통적용을 위한 22.9kV 배전용 초전도케이블의 보호협조 검토", 2010년도 대한전기학회 하계학술대회.