

초전도 전력기기 적용에 따른 계통보호문제 고찰

이 승 렬* 윤 재 영* 이 병 준**
 한국전기연구원* 고려대학교**

Basic study on the protection of Korean power system applying superconducting devices

Seung Ryul Lee* Jae Young Yoon* Byongjun Lee**
 KERI(Korea Electrotechnology Research Institute)* Korea University**

Abstract - This study is on the protection system of Korean power system applying superconducting power devices. We investigate firstly protection systems of Korean power system and then do a basic study on the impact of relay systems in the power system with superconducting devices. For the more reliable result, we will carry out relay operation tests in the power system applying superconducting facilities using RTDS(Real Time Digital Simulator) in the future.

1. 서 론

초전도 전력기기 도입시 계통측면에서 고려해야 할 점 중 하나가 기존 보호협조 시스템과의 상충으로 인한 문제이다. 보호협조 시스템의 오동작 혹은 부동작은 계통 전체에 파급되는 영향이 막대하므로 보호협조 문제는 매우 중요한 사항이다[1~3]. 계통고장 발생시 적절한 대응을 하지 못한다면 계통 전체의 불안정을 초래할 수 있으며, 최악의 경우 복미대정전, 이탈리아 대정전과 같은 대규모 정전이 발생할 수도 있다. 따라서 초전도기기의 계통적용에 따른 보호문제를 상세히 검토할 필요성이 있다. 특히, 대용량의 초전도기기 도입에 따른 계통고장전류 변화 및 고장발생시 초전도한류기의 임피던스 증가로 인한 보호시스템에 미치는 영향을 파악하고 이에 적절한 대응을 할 수 있어야 한다.

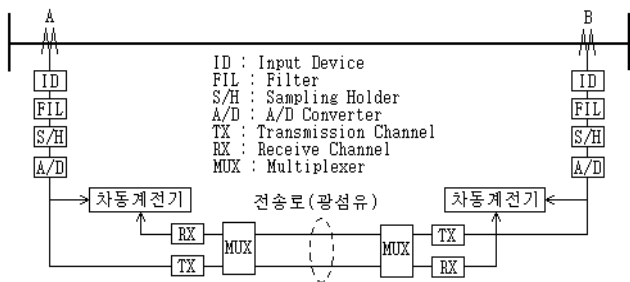
본 연구에서는 초전도 전력기기를 국내 실계통에 적용할 경우, 기존의 보호시스템에서 발생할 수 있는 문제를 파악하고 이에 대한 대안을 제시하는 것을 목적으로 한다. 주요 검토대상 기기는 기존 보호시스템에 큰 영향을 줄 것으로 예상 되는 기기로서, 고장시 임피던스 변화가 큰 초전도한류기와, 기존 정격전류와 차이가 큰 22.9kV 100MVA급 초전도 케이블이다. 검토범위는 크게 154kV급 초전도기기 적용시 보호문제와 대용량초전도(신)전력계통[4~6]에서의 보호문제로 구분된다. 우선, 기존 계통의 보호방식을 분석하여 초전도기기 적용시의 문제점을 정성적으로 검토하고, 추가검토가 필요한 경우, 계통해석 프로그램인 EMTDC를 이용하여 상세 기술성검토를 수행하였다.

2. 154kV 계통보호 고찰

2.1 154kV 송전선로 주보호

2.1.1 PCM 전류차동방식

PCM(Pulse Code Modulation) 전류차동방식은 보호구간 각 단자의 전류치를 샘플링하여 부호화한 후 상대 단으로 전송하고, 전류크기와 방향을 비교하여 고장구간을 판정하는 방식이다[1][2]. <그림 1>은 전류차동방식의 개념을 표시한 것으로 A단에서는 자단의 전류와 상대 단에서 전송된 전류의 합이 일정한 범위를 벗어나면 내부고장으로 판단하여 차단기를 Trip시키며 B단에서도 자단 전류와 상대 단 전류의 합이 일정치 이상이면 차단기를 Trip시켜 고장구간을 계통으로부터 분리한다.

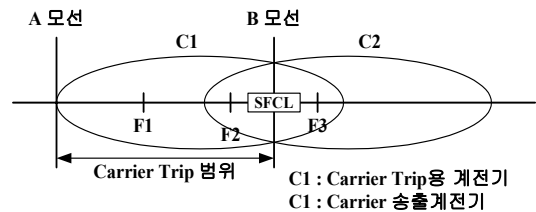


<그림 1> 전류차동방식의 개요

결국, PCM전송 전류차동방식은 송전선로 양단의 전류크기와 방향을 비교하여 고장여부를 판단하는 것으로서, 초전도기기 적용에 의한 영향은 거의 없을 것으로 판단된다.

2.1.2 방향비교트립저지(Blocking)방식

방향비교트립저지방식은 거리계전기의 Zone-2, 3를 응용하여 송전선로 양 단에서 대상선로의 고장여부를 판단하는 방식이다[1][2]. 즉, 송전선로 양 단의 거리계전기가 정확한 고장위치를 판별하는 것이 아니라, 양 단의 거리계전기 판단결과를 종합해서 고장위치가 대상선로의 내부인지 외부인지만을 판별하는 방식이다. <그림 2>와 같이 B 모선에 Bus-Tie 방식으로 초전도한류기가 투입된 경우, 자기구간 밖(외부)에서 고장이 발생했을 때, 초전도한류기의 임피던스가 고장임피던스에 영향을 주므로 고장위치를 정확히 판단할 수 없을 가능성이 있다. 그러나 방향 비교 트립저지방식에서는 고장위치가 내부(자기구간)인지 또는 외부인지만을 판단하고 상대단으로부터 고장정보를 수신 받아서 최종적으로 고장위치를 판단하므로, 외부(자기구간 밖)에서 고장이 발생하였을 때의 고장위치 판단오류는 큰 문제가 되지 않을 것으로 보인다. 단, 보다 정확한 판단을 위해서는 초전도한류기의 한류저항을 고려한 임피던스 Setting 정정은 필요하다.

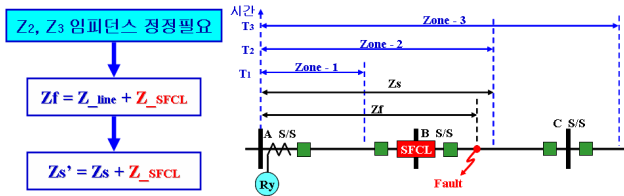


<그림 2> 방향비교트립저지방식에서의 초전도한류기 투입개념도

방향비교트립저지방식에서의 초전도한류기 적용에 따른 동작원리를 간단히 나타내면 다음과 같다. <그림 2>에서 Carrier Trip 기준을 A 모선으로 가정한다면, F1 및 F2 지점에서 고장이 발생할 경우는 A모선의 Zone-2 및 Zone-3가 동작하여 내부고장으로 인식하며, 이때 초전도한류기의 한류임피던스는 고장위치 판단에 전혀 영향을 주지 않는다. 또한 F3지점에서 고장이 발생하는 경우는 Zone-2 및 Zone-3에서 외부고장으로 인식한다. 즉, F3 고장에서는 초전도한류기의 Quenching 임피던스가 포함되어 계전기의 측정임피던스는 커지게 되지만, A모선의 Zone-2 및 Zone-3는 고장위치를 정확히는 알 수 없지만 외부고장(자기구간 밖)으로 판단하게 된다. 최종적으로는 B 모선으로부터도 고장정보를 수신하여 최종 고장위치를 결정하므로 보호시스템 동작에는 큰 영향이 없을 것으로 예상된다.

2.2 154kV 송전선로 후비보호

국내 154kV 송전선로 후비보호로는 3단계한시거리계전방식을 사용하고 있는데, 이는 거리계전기를 이용하여 고장구간을 3단계(Zone-1, 2, 3)로 구분하여 고장판별 후, 시간차를 두고 계통을 보호하는 방식이다[1][2]. 여기서 거리계전기는 사고시에 계전기에 걸리는 전압과 전류의 측정결과를 바탕으로 계산된 계전기 임피던스 Zs(계전기 설치지점에서 고장지점까지의 전기적 거리)에 따라 동작한다. <그림 3>에서 초전도한류기를 A모선과 B모선 사이의 선로에 적용하는 경우는 계통고장 발생시 초전도한류기의 한류저항에 의해서 Zone-1,2,3 모두 계전기의 오부동작의 가능성이 있다. 초전도한류기를 B모선에 적용한 경우는, Zone-2 및 Zone-3 에서의 계전기 오부동작의 가능성이 클 것으로 예상된다. 결국, 3단계거리계전방식에서는 초전도한류기의 한류저항을 고려한 계전기 임피던스 정정 등의 대책이 필요하다.



<그림 3> 초전도한류기에 따른 임피던스 정정 예

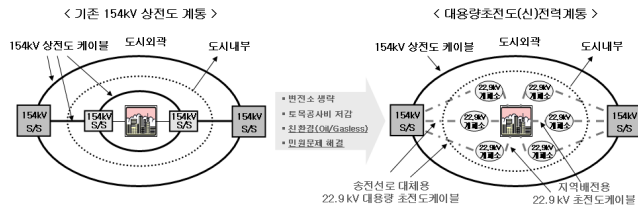
2.3 154kV 모선보호

국내 154kV 모선보호방식은 주로 위상비교전류차동방식과 전압차동방식을 사용한다[1][2]. 위상비교전류차동방식은 모선에 연결된 선로의 전류위상차에 의해서 내부고장과 외부고장을 판별하는 방식이며, 전압차동방식은 각 선로의 전류차에 의해서 유기되는 전압에 의해서 고장을 검출하는 방식이다. 초전도 전력기가 투입된다 하더라도 모선에 유입되는 전류의 절대적 크기만이 줄어들 뿐이며, 각 선로를 통해 유입되는 전류위상차 또는 전류차로부터의 유기전압에 의한 계전기 오동작은 없을 것으로 판단된다. 즉, 초전도기기 도입에 따른 기존 모선보호방식에의 영향은 거의 없을 것으로 보인다. 단, 초전도한류기를 Bus-Tie방식으로 적용할 경우, 해당모선의 보호범위 및 초전도한류기 자체기기보호 등에 대한 내용이 추가되어야 할 것으로 판단된다.

3. 대용량초전도(신)전력계통 22.9kV 초전도케이블 보호

3.1 대용량초전도(신)전력계통

대용량초전도(신)전력계통은 최근 제안된 개념으로[4~6], <그림 4>와 같이 154kV 송전선로를 22.9kV 대용량 초전도케이블로 대체하고, 초전도변압기와 고장전류 저감을 위한 초전도한류기를 병행 적용함으로써, 궁극적으로는 도심의 154kV 변전소를 22.9kV 배전개폐소로 변환하여 외곽의 154kV 변전소로부터 초전도케이블을 통하여 전력을 공급하도록 하는 계통구성방식이다. 이는 국내 대도시의 전력기기의 입지문제, 고장전류문제 등을 개선할 수 있을 뿐만 아니라, 향후 전력계통의 패러다임을 바꿀 수 있는 획기적인 방안이 될 것으로 평가되고 있다.



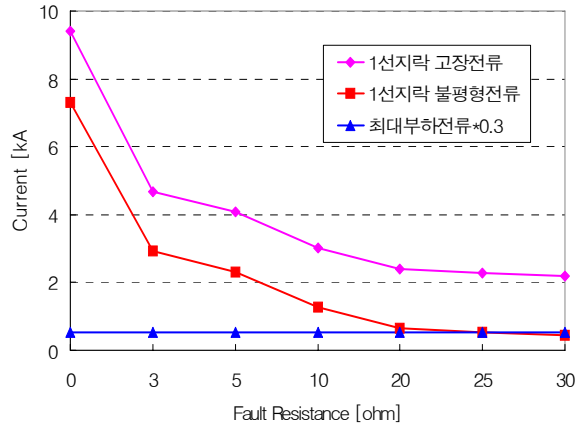
<그림 4> 대용량초전도 (신)전력계통 개념도

3.2 22.9kV 초전도케이블 보호문제

국내 배전선로의 보호방식은 선로에 흐르는 전류 크기로 고장을 판별하는 과전류계전방식을 사용하고 있다[2][3]. 과전류계전방식은 선로에 흐르는 부하전류를 기준으로 계전기 동작전류가 정해지는데, 22.9kV 초전도케이블은 기존의 배전선로에 비해서 용량이 최소 5배 이상이 되므로 상대적으로 계전기의 동작전류가 커지게 된다. 대용량초전도(신)전력계통에서 지역배전용 22.9kV 50MVA 초전도케이블은 기존 배전선로 부하전류의 5배, 154kV 송전선로 대체용 22.9kV 100~200MVA 초전도케이블은 기존 배전선로 부하전류의 10~20배 크기에 달하는 부하전류를 갖게 된다. 특히, 고저항 지락고장의 경우, 국내에서 최대 지락고장으로 30Ω까지 고려하고 있는데, 송전선로 대체용의 22.9kV 대용량 초전도케이블을 적용하는 경우 고저항 지락고장시에 계전기가 부동작할 가능성이 있다. 계통조건에 따라서 고장계산결과가 다를 수 있지만, 최대 부하수준을 90MVA~300MVA로 변화시키면서 최악의 경우를 상정하여 EMTDC를 이용하여 기본검토를 수행하였으며, 그 결과의 한 예를 <그림 5>에 나타내었다. <그림 5>의 1선 지락고장 검토결과에서 알 수 있듯이 최대부하가 200MVA 이상이 되는 경우 25Ω 이상의 고저항 지락고장시 계전기 부동작 가능성 존재한다. 이는 현재 국내 배전계통에서 최대 지락고장저항으로 고려하고 있는 30Ω과 상충되는 면이 있음에 뜻한다. 결국, 대용량초전도(신)전력계통에서 지역배전용인 22.9kV 50MVA 초전도케이블은 과전류계전방식의 적용이 가능할 것으로 예상되지만, 154kV 송전선로 대체용인 22.9kV 대용량 초전도케이블은 기존의 과전류계전방식을 적용할 수 없을 것으로 판단된다.

3.3 대안모색

대안으로서 다음과 같이 3가지 방안을 생각할 수 있으며, 경우에 따라서 아래 대안 중 택일 혹은 복합적용이 필요하다. 현재, 가장 유력한 대안은 (대안-3)인데, 과전류계전방식에 비해서 다소 비용이 많이 들고 적



<그림 5> 1선 지락고장 계산결과 (부하 210 MVA)

용측면에서 복잡한 경향이 있으나, 현실적으로 계통신뢰도 측면에서 가장 효과가 좋은 방안이라 할 수 있다.

- (대안-1) 최대 부하수준을 150MVA이하로 구성 → 단점 : 22.9kV 개폐소 전체부하가 150MVA 이상으로 증가시 문제발생
- (대안-2) 최소 1선지락 고장전류 기준 유연성 있게 적용? (예 : 20 Ω기준) → 단점 : 20Ω 이상의 고저항지락고장 대비 불가
- (대안-3) 송전선로 보호방식 적용 : PCM 전류차동방식, 방향비교트립저지(Blocking)방식 → 단점 : 비용과다. 적용복잡.

4. 결 론

본 연구는 초전도전력기기가 국내 실계통에 적용될 경우, 기존의 계통보호와의 상충점을 확인하고, 문제점에 대한 대안모색을 주 내용으로 하고 있다. 본 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 154kV 송전선로 주보호에서는 기존 보호방식에 큰 문제가 없으나, 방향비교트립저지방식에서 고장위치의 정확한 판별을 위해서는 계통조건에 따라 방향거리계전기 정정은 필요할 것으로 사료된다.
- 154kV 송전선로 후비보호인 3단계거리계전방식은 한류저항 삽입으로 부동작/오동작 가능성 있으며, 계전기의 정정 등 이에 대한 별도 대책이 요구된다.
- 154kV 모선보호에서는 기존 보호방식의 사용이 가능하다. 단, 초전도한류기를 BUS-TIE 방식으로 적용하는 경우에는 모선보호범위를 재설정할 필요성이 있다.
- 초전도(신)전력계통에서는 기존 배전선로에서 사용하는 과전류계전방식은 고저항지락고장 보호가 곤란하다. 대안으로서의 PCM 전류차동방식 등 송전선로 보호방식을 선택하는 것이 합리적인 것으로 판단된다.

상기 도출된 결론은 정성적 검토 및 계통해석 Tool을 이용한 시뮬레이션 결과에 근거한 것으로서, 향후 보다 신뢰성 있는 결론을 도출하기 위해서는 RTDS(Real Time Digital Simulator)를 이용한 실제 계전기응동특성 시험이 필요하다.

감사의 글

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

[참 고 문 헌]

[1] 한국전력공사, “전력계통보호 (I), (II)”, 2003
 [2] 신대승, “보호계전시스템기술”
 [3] 한국전력공사, 배전처, “배전보호기술서”, 1995
 [4] 윤재영, “대용량 초전도 신전력계통”, 전기의 세계, 2006. 4
 [5] Jae-young Yoon, Seung Ryul Lee, Jong-yul Kim, “Application Methodology of 22.9kV HTS Cable in Metropolitan city of South Korea”, IEEE 2006 ASC, 2006. 8
 [6] 이승렬, 김종율, 윤재영, 이병준, “대도시 분산형 배전개폐소를 적용한 초전도 전력시스템 개념설계”, 전기학회논문지, 55A권 12호, 522~528, 2006. 12