

고장시 발·변전소 차단기 차단실패 보호방식의 개선에 대한 연구



윤 기 섭

한국전력공사 설비진단처
전력계통시험팀장

전력계통에 고장이 발생하면 이를 제거하기 위해 주보호(Main Protection) 및 후비보호(Back Up Protection)로 중첩하여 구성하고 있다. 그러나 어떠한 원인에 의해 차단기가 부동작 할 경우가 있는데 이를 방지하기 위해 후비보호 중 한 요소인 차단실패 보호를 사용하고 있다. 차단실패 보호는 부동작된 차단기의 인접한 차단기를 트립시켜 고장을 제거하는 방식이다. 간혹 차단실패 보호과정에서 원하지 않는 동작이 발생하는데 이것은 광역정전 및 계통붕괴의 시발점이 될 수 있어 차단실패시스템의 신뢰성이 매우 중요하다. 본고에서는 해외 전력회사들의 차단실패 보호 스킴을 조사하고 우리나라의 경우와 비교하였다. 또한 과거 오동작 사례 및 해외 전력 사례 분석을 통하여 우리나라에 적용하고 있는 차단실패 보호 스킴의 개선 방향을 제시하였다.

1 개황

전력계통에 고장이 발생하면 안정적이고 정확하게 고장구간을 분리할 수 있도록 주보호 및 후비보호 시스템을 중첩하여 보호하도록 구성하고 있다. 그러나 고장 시 해당 차단기(CB; Circuit Breaker)의 트립코일 불량, 차단부 불량, 절연가스 압력저하 등 다양한 이유로 고장구간을 분리하지 못할 수 있다. 이를 예방하기 위해 후비보호의 하나인 차단기 차단실패 보호방식을 적용하고 있다. 차단실패보호 시스템의 과거 오동작 사례를 분석하고 해외 전력회사에 적용 중인 차단기 차단실패 보호 스킴과 우리나라의 보호 스킴 비교를 통하여 회로불량 및 결선오류에 의한 오동작을 예방하고자 한다.

2 현황

가. 고장시 차단기 차단실패 보호방식

차단실패 보호는 고장발생 시 어떠한 이유[차단기 트립코일 단선, 차단기 메커니즘 불량, 차단전류 소호용 가스(SF₆ Gas) 저하 등]로 차단기가 부동작 되었을 경우 고장제거를 위한 적절한 조치(인접 차단기 차단)를 취한다. 차단실패 보호에

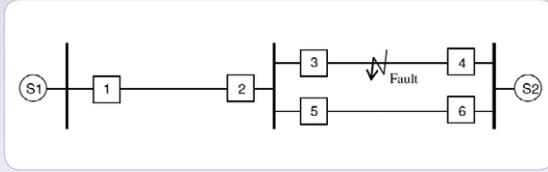


그림 1 차단기 차단실패 보호를 통한 후비보호

대해 그림 1로 살펴보면 CB(3)-CB(4) 선로에서 고장이 발생하여 송전선로 보호용 주보호계전기가 동작하였으나 CB(3)이 부동작하였다. 이 때 일정시간(Breaker Failure Timer 기동) 후 차단기 차단실패 보호계전기가 동작하여 CB(2)과 CB(5)를 차단하여 고장구간을 분리시킨다.

우리나라에서 사용되고 있는 전압별 차단실패 보호 방식은 표 1과 같다.

표 1 전압별 차단기 차단실패 보호방식

전압 (kV)	Bay 구성	주 보호 (Main Protection)	비고
154	-	과전류계전기 + Timer → Trip • Local Trip (인근차단기)	모선보호반 내 차단실패 기능 구비
345	2CB 또는 3CB	과전류계전기 + Timer → Trip • Local Trip (인근차단기) • Remote Trip	Remote Trip은 송전선보호반용 전송로 이용
765	2CB 또는 3CB	과전류계전기 + Timer → Trip • Local Trip (인근차단기) • Remote Trip	2계열 구성

1) 차단기 차단실패 보호의 기본로직

차단실패보호(BFP : Breaker Failure Protection) 구조는 BFP 개시 회로, 고장 및 차단기(CB) 부동작 검출, 출력회로 세부분으로 나눌 수 있는데 이 중 고장 제거 동작 중에 차단기가 제대로 동작되었는지를 감지하기 위해 주도체 전류흐름 감시 과전류계전기(50BF)와 Feeder용 보호계전기 차단신호(BFI : Breaker Failure Initiate)가 사용된다. 그림 2는 우리나라 및 해외 전력회사에 기본적으로 구성하고 있는 차단실패 보호 스킴이다. 그림 3은 고장 제거 타임차트로 보호계전기의 동작과정을 한 눈에 파악할 수 있다.

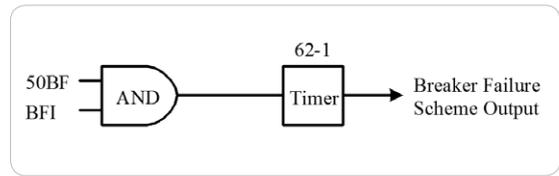


그림 2 기본적인 차단실패 구성

2) 차단기 차단실패 보호의 요건

고장 시 고장구간을 신속하게 분리해야 하는 해당 차단기가 관련 보호계전기의 동작에도 불구하고, 어떤 원인으로 차단기가 차단에 실패하였을 경우, 차단기 차단실패 보호계전기가 동작할 경우 해당 차단실패 차단기를 제외한 인접된 다수의 차단기를 트립시켜

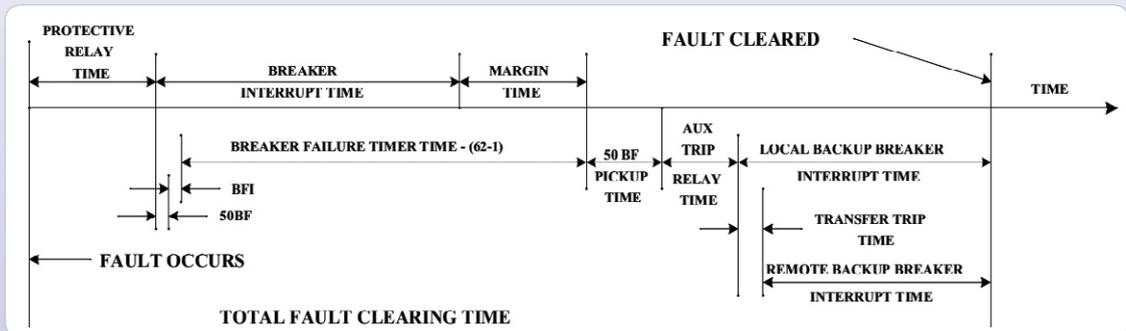


그림 3 고장 제거 타임 차트

고장파급을 방지한다. 그러나 실제 고장이 아닌 경우에 차단실패 보호계전기가 오동작이 되었을 때 다수의 Feeder가 공급 정지되므로 전력계통 공급신뢰도 및 안정도에 악영향을 미칠 수 있다. 따라서 좋은 차단실패 보호 스킴을 구성하여 단일요소에 의한 동작 또는 하나의 인적실수 요인에 의한 오동작을 예방할 수 있어야 한다. 차단실패 보호는 신뢰성 및 정확성을 지향해야 한다.

나. 차단기 차단실패 오동작 사례(1)

1) 동작 개요

345kV ○○변전소(1,5CB 구성방식 : #1,#2 모선 사이에 3CB 구성)에 345kV 송전선로를 가압하기 위해 모선측 차단기(7171CB) 정상투입 후 중앙측 차단기(7100CB)를 투입함과 동시에 50BF-7100 과전류 보호계전기가 동작되고 86BF-7100 Lockout 계전기가 동작되었다.

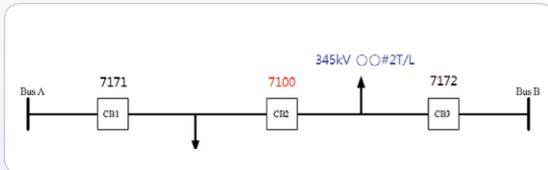


그림 4 345kV Bay 단선도

2) 동작 원인

345kV 송전선로 보호반 내 BFI 점접 결선불량(제작결함)으로 BFI 신호가 단락되어 50BF-7100 과전류 계전기에 BFI 입력이 상시 동작 상태를 유지하고 있었다. 이후 Feeder 가압을 위해 모선측 차단기를 투입한 순간 정상적인 조류(Power Flow)가 50BF-7100 과전

류계전기의 정정값 이상의 전류가 흐를 경우 실제 고장이 아님에도 차단기 차단실패 보호계전기가 동작하여 관련된 차단기를 모두 동작시켜 정전을 유발한다.

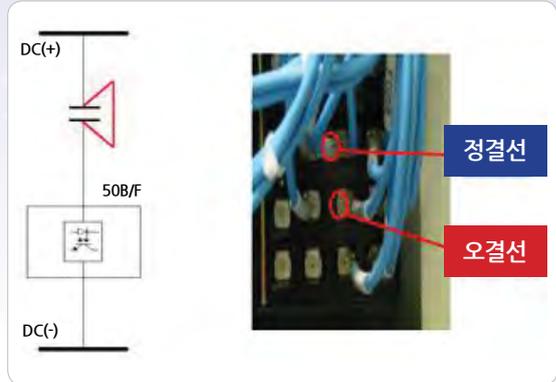


그림 5 BFI 송출점 결선불량에 따른 동작(제작불량)

다. 차단실패 오동작 사례(2)

1) 동작 개요

345kV ○○변전소(1,5CB 구성)에 345kV 변압기를 가압하기 위해 모선측 차단기(7172CB) 정상투입 후 중앙측 차단기(7100CB)를 투입함과 동시에 정상적인 부하에 의한 전류에 의하여 50BF-7172 과전류계전기가 동작되고 86BF-7172 Lockout 계전기가 동작되었다 (그림 4 참조).

2) 동작 원인

345kV 변압기 보호반 ~ 차단실패반 간 제어케이블 오결선으로 상시 BFI신호가 입력된 상태에서 모선측 차단기 투입 후 중앙측 차단기를 투입하여 7172 차단기에 50BF-7172의 계전기 정정 값 이상의 전류가 흘러 차단실패 보호계전기가 동작하였다.

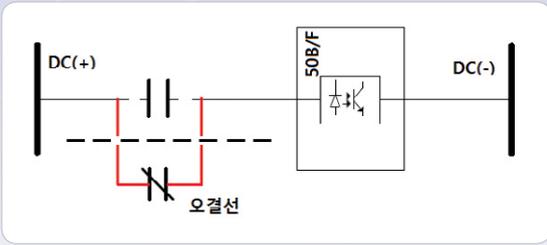


그림 6 제어케이블 오결선에 따른 동작(시공불량)

라. 해외 차단실패 오동작 사례

1) 보호계전기 출력접점 불량

과거에 대부분 사용하던 보호계전기의 형식인 기계식(EM Type : Electro Mechanical) 및 정지형(Static Type) 보호계전기에서 발전된 일부 디지털 보호계전기에 BFI용 접점을 반도체 소자를 사용한 고속 하이브리드 접점을 사용하였다. 그림 7은 해당 접점 내 정류회로의 다이오드에 불량이 발생되어 오신호로 동작된 사례이다. 회로 설계시 BFI용 접점은 하이브리드 접점보다 Dry 접점 사용이 추천된다.

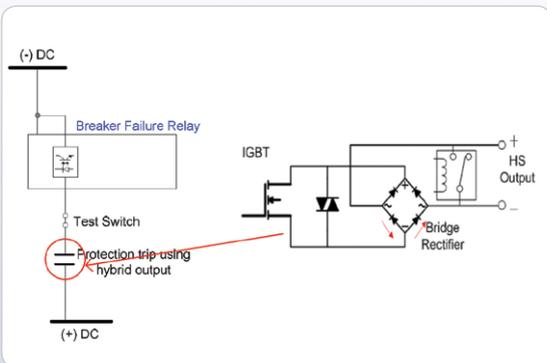


그림 7 출력접점 내 다이오드 불량에 따른 동작

2) 시험 중 BFI 접점 단락

현장에서 보호계전기 관련 엔지니어가 차단기~보

호계전기 간 연동된 동작시험을 위해 Trip 단자가 아닌 BFI 단자를 점퍼시켜 차단기 차단실패 보호계전기가 동작된 사례이다. 보호계전기 및 관련회로를 Check 전 충분한 도면 및 현상사항 검토가 요구된다.

마. 차단실패 보호스킴 개선 방안

차단기 차단실패 보호계전방식 설계는 오동작 시 전력계의 안정적 운영에 불리한 영향을 끼칠 수 있는 중요한 Factor가 될 수 있으므로, 숙련된 보호계전기 전문 엔지니어가 수행해야 한다. 또한, 보호계전기 설계 및 엔지니어링은 무엇보다도 안정성을 최우선으로 하여 검토하여야 한다. 해외 차단실패 보호에 적용 중인 스킴을 고찰하고 오동작을 예방할 수 있는 보호 스킴에 대해 살펴보았다.

1) 차단실패 보호 로직 개선

Control timer를 삽입하여 BFI 접점 불량, 결선 불량으로 인한 오동작을 방지할 수 있도록 BFP 로직을 개선하였다. 이 로직을 적용하면 앞서 발생되었던 사례를 방지하는데 매우 효과적일 것으로 판단된다. 여기에 BFI 신호를 감시할 수 있도록 50BF 계전기에 Target Lamp 구성 및 원격감시를 수용하면 신뢰성이 더욱 향상될 것이다.

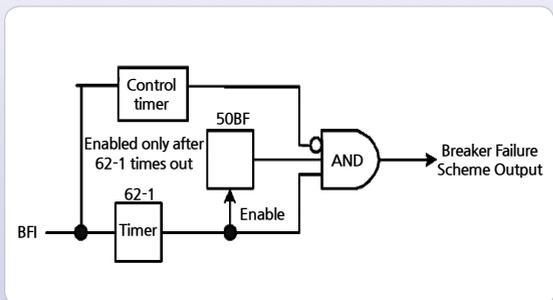


그림 8 BFP 개선된 로직

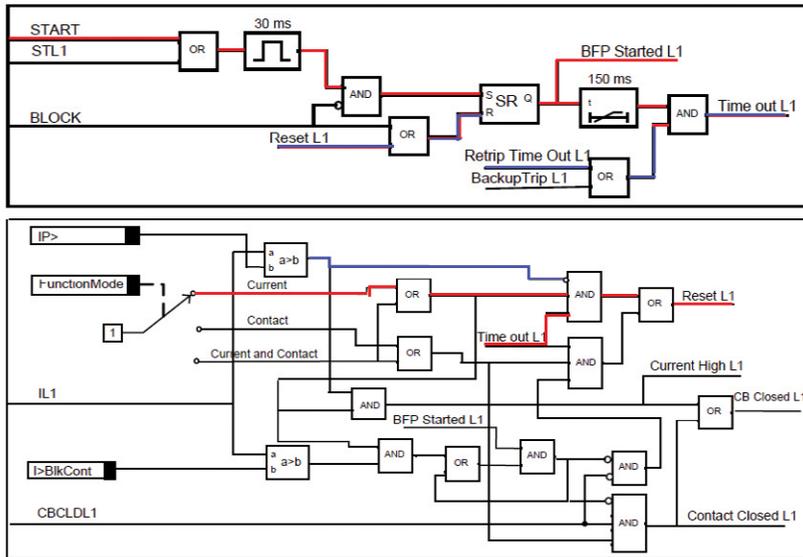


그림 9 A사 차단실패 보호 로직

A사 모선 보호계전기의 BFP 로직은 전류검출(50BF) 없이 BFI 신호만 수신되면 150ms로 복귀되도록 제작되어 오동작에 대한 안정성을 높였다.

이 방식은 현재 154kV 모선보호반에 적용되고 있다.

2) 전류 변화 감시 적용

전류변화를 및 역상, 영상전류 검출요소를 사용하여 부하전류에 의한 50BF 동작을 감시할 수 있다. 50BF 셋팅값을 부하전류보다 낮게 정정해야 할 경우 전류변화 검출요소(Disturbance Detector)에 의해 실제 고장 판단을 감시할 수 있다. 전류변화 검출요소가 동작되면 가장 늦은 후비 보호계전기와 협조가 될 수 있도록 지연복귀시간(tDD) 설정이 필요하다. 현재 대다수의 디지털 보호계전기에 실제 고장검출용으로 많이 사용되고 있다.

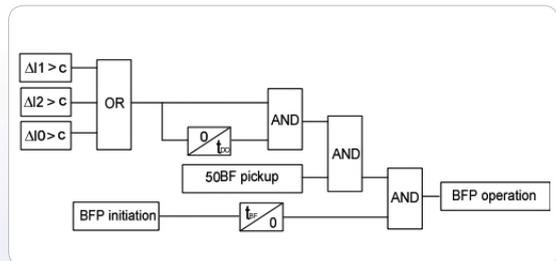


그림 10 50BF 감시에 전류변화검출기를 사용한 로직

3) 전압요소 감시 적용

상, 역상분, 영상분 전압을 사용하여 부하전류에 의한 50BF 동작을 감시할 수 있다. 그러나 전압요소는 장거리 송전선로의 말단 고장 및 변압기, 발전기 내부 고장 발생 시 부동작 할 수 있어 정정 값 설정 시 정당한 계산이 필요하고 전압을 받기 위해 추가적인 제어 케이블 포설 및 전압 선택 스위치가 필요하다.

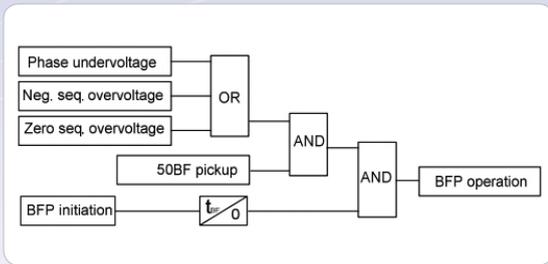


그림 11 50BF 감시에 전압요소를 사용한 로직

3 전망

차단기 차단실패 보호계전기 동작 시 Local(자단) 및 Remote(상대단) 등 다수의 차단기를 트립시키기 때문에 신뢰성과 정확성이 매우 중요하다. 차단기 차단실패 보호계전기의 오동작은 안정적인 전력계통 운영에 악영향을 미칠 수 있어 안정성과 신뢰성을 고려한 최적의 차단

기 차단실패 보호 스킴 설계 및 현장 설비상호 간 정확한 제어케이블의 결선이 필요하다.

지금까지 차단기 차단실패 보호계전방식의 제어회로에 의해 발생되었던 우리나라 및 해외 오동작 사례를 살펴보고, 현재 우리나라에서 적용하고 있는 차단기 차단실패 보호계전 방식과 해외 전력회사에 적용하고 있는 보호방식을 비교하여 차단실패 보호계전기의 오동작에 대한 대책 및 향후 차단실패보호 설계방식 개선의 기준 및 방향을 제시하였다. 

참고문헌

- [1] Yiyang Xue; Thakhar, M.; Theron, J.C ; Erwin, D.P, "Review of the Breaker Failure Protection practices in Utilities", Protective Relay Engineers, 2012 65th Annual Conference for , p260-268, 2012
- [2] "IEEE Guide for Breaker Failure Protection of Power Circuit Breakers", IEEE Std. 37.119-2005.
- [3] Héctor J. Altuve, Michael J. Thompson, Joe Mooney; "Advances in Breaker-Failure Protection", Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2006
- [4] 한국전력공사 송변전운영처, "계통보호업무처리 지침", p27~30, 2012
- [5] ABB; "Busbar protection REB670 Technical reference manual", 2011