

보호계전기 동작 신뢰도 제고를 위한 알고리즘 개선 및 정정기법 고찰

유영식 김완중 조범섭
 한국전력거래소 한국전력거래소

A study on algorithm reform and setting technique for enhancing Protective relay operation reliability

Lyu, Young-Sik Kim, Wan Jong Cho, Burm Sup
 KOREA POWER EXCHANGE

Abstract - 전력계통의 복잡화와 대도시의 지중선로 및 전력전자 설비 사용 확대에 의해 고주파 성분은 포함된 특이 고장현상이 증가하고 있으며, 이와 관련 있는 것으로 추정되는 보호계전기의 원인 불명 동작 사례도 최근에 발생하고 있다. 보호계전기의 동작은 부동작, 정동작 및 오동작으로 구분할 수 있는데 보호계전기가 부동작 또는 오동작할 경우 광역정전으로 진전될 가능성이 크다. 따라서 보호계전기의 정상 동작은 광역정전을 예방하는 시발점이 된다. 보호계전기의 비정상 동작사례를 살펴보면 CT비 선정의 부적합으로 인한 설비손손 및 오동작과 CT 포화 또는 원인불명의 차전류로 인한 오동작 사례가 다수 발생하고 있다. 본 논문은 보호계전기의 비정상적 동작을 방지하고 동작 신뢰도를 제고하기 위한 비유차동계전기의 알고리즘 개선 방안과 바람직한 정정 기법에 대해 고찰하였다.

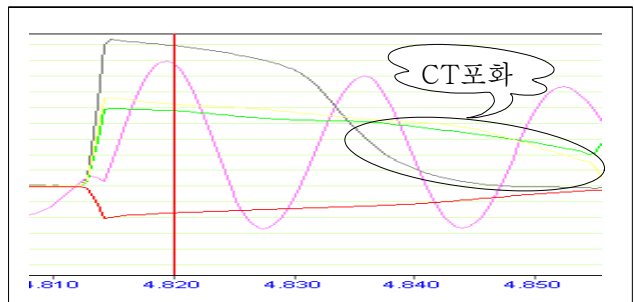
1. 서 론

세계적 광역정전을 살펴보면 1990년대 미서부-캐나다 지역 등에서 7 번 및 2000년대에는 이태리 지역 등 전세계적으로 6번 이상 발생하였다. 특히 2003년도에는 북미지역을 포함해서 4번의 광역정전이 발생하였다. 전력기술 및 계통운영 기술이 비약적으로 발전하고 있지만 계통규모의 확대, 경제성 위주의 투자 및 지역간 중 조류선로 증가로 인해 광역정전의 발생빈도 또한 줄지 않고 있다. 따라서 전력산업계의 화두는 최고수준의 전력계통 신뢰도 수준 유지와 광역정전 방지에 초점을 맞추고 있다. 광역정전의 주 진행 양상을 살펴보면 선로 등 설비고장, 보호계전기 및 안정화 장치 동작, 발전기 정지, 저주파수, 계통분리, 수급불균형 등으로 진행하면서 광역화 되는 것을 볼 수 있다. 또한, 고장발생 후 건전선로의 과부하로 인한 보호장치 동작도 광역정전의 중요한 요인이 되고 있다. 보호계전기는 고장설비를 건전설비로부터 분리하여 고장파급에 의한 설비 손상을 방지하고 건전계통을 안정적으로 운전할 수 있도록 조치하는 장치이므로 계통 중요 발생 등 긴급한 시기에 보호계전기가 오동작하면 광역정전으로 진전될 개연성이 크게 된다. 보호계전기의 비정상 동작 원인은 계전기 자체의 결함, 부속설비인 변류기(CT) 및 변성기(PT)의 결함, 단자대 불량 등 유지보수 미흡, 가혹한 고장전류에 의한 CT 포화 및 정정오류 등으로 분류할 수 있다. 따라서 보호계전기의 동작 신뢰도 향상을 위해서는 계전기 제작사와 운영자 모두 상호 노력하여야 한다. 첫째, 보호계전기 제작사는 알고리즘 구성에 완벽을 기하여야 한다. 부적합한 알고리즘 구성은 보호계전기의 오·부동작 개연성을 높이기 때문이다. 둘째, 설비소유 사업자는 최적의 설비상태를 유지하여야 한다. 설비의 유지보수 미흡에 의한 오동작 사례도 다수 발생하고 있다. 셋째, 보호장치 정정자는 정정값 뿐만 아니라 CT비 선정에도 주의 기울여야 한다. 부적합한 CT비 선정으로 정격 과전류 정수배(20)를 초과하는 과도한 고장전류가 변류기 2차측에 유입되어 설비손상을 유발시킨다. 특히, 대부분의 전기설비 자격시험 준비서를 보면 변압기 보호 비유차동계전기 또는 변압기 고압측 과전류 보호계전기의 CT비 선정시 변압기 용량을 기준으로 CT비를 선정하도록 기술하고 있는데 보호측면에서 보면 적합한 방법은 아니다. 보호계전기는 일차적으로 설비고장시에 동작하는 것이 주목적이므로 CT비 선정은 고장전류를 기준으로 선정하는 것이 바람직하다. 따라서, 고장사례를 통한 오동작 유형과 보호장치의 동작특성을 살펴보고 안정적인 보호장치의 운영방안을 제시하고자 한다.

2. 본 론

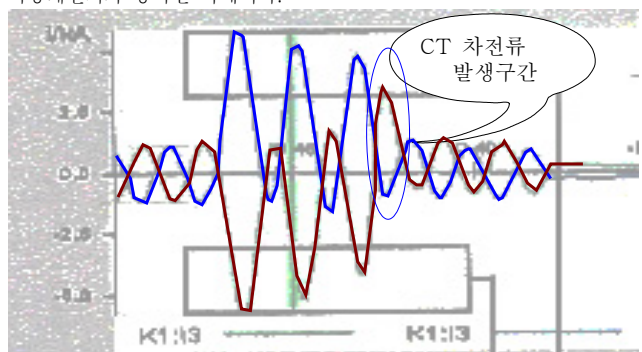
2.1 외부 고장시 비유차동계전기 오동작 사례

그림-1은 발전기 연계모선 3상 단지락고장시 주변압기 보호 비유차동계전기가 비정상 동작하여 발전기가 정지한 사례이다. 계통현상분석장치의 기록 Data이며, 한쪽 CT의 포화로 인한 차전류가 발생하여 동작한 것으로 판단된다.



<그림-1> 외부 모선3상 단락고장시 CT 포화(영상전류) 사례

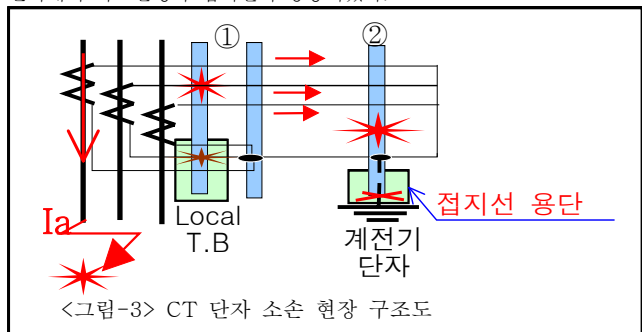
그림-2는 계전기의 기록 Data이다. 파형만으로 판단하면 전형적 포화유형은 아니다. 고장발생 후 차단기가 차단되면서 전류차가 발생하여 비유차동계전기가 동작한 사례이다.



<그림-2> 외부 1상 지락 고장시 오동작 사례

2.2 CT비 선정 오류 및 유지보수 미흡 사례

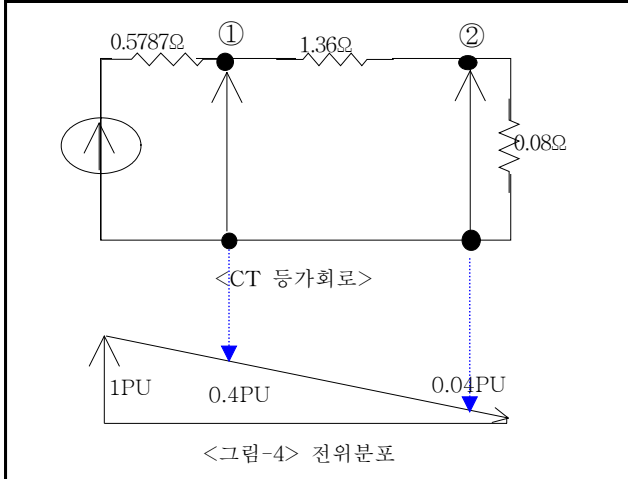
주변압기 1차 붓싱측에서 A상 지락고장 발생시 CT 단자대 소손 및 CT 중성점 접지선이 용단된 고장사례이다. 그림-3의 ① 위치는 현장의 GIS 내부 및 제어함 CT 단자대이며, GIS 내부 단자대에서 조임 나사의 아크흔적 및 탈락 등이 발생하였다. ②는 보호배전반의 CT 단자대이며, 단자대의 아크발생과 접지선이 용융되었다.



<그림-3> CT 단자 소손 현장 구조도

이와 같은 고장현상이 발생한 사유는 CT비 선정의 오류로 인한 과도한 고장전류의 유입과 단자대 접촉 불량 등이 어우러진 고장으로 추정된다. CT 2차측에서 유입된 전류는 500A 전후로 정상적인 과전류정수의 5배가 넘는 크기이다(과전류정수 기준 : 20). 그림-4는 단자대 위치별 전위분포를 그렸으며, 위치별 전위 분포를 보면 ② 위치에서 과전압

이 발생할 가능성은 없다. 즉 회로상태가 정상이었다면 이번 고장과 같은 현상은 나타나지 않을 것으로 판단된다.



2.3 문제점

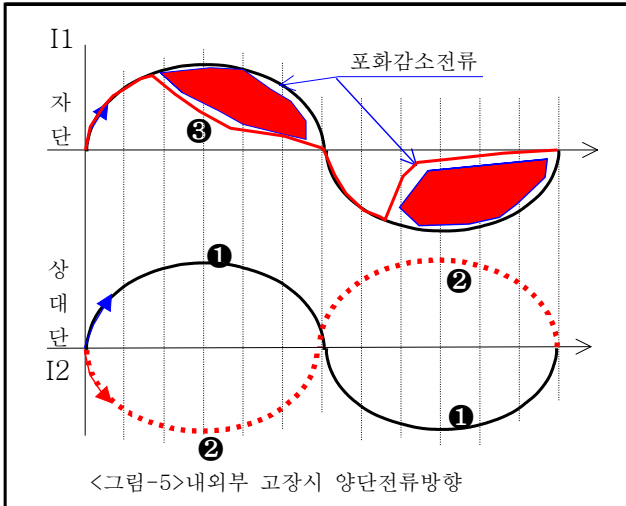
1) CT 포화 또는 다른 원인으로 양단에 차전류가 발생하면 비율차동계전의 동작을 방지할 방법이 없다. 현재 제작사별 CT포화 대책방안의 일환으로 보호계전기 알고리즘을 적용하고 있으나, 고장사태처럼 근본적인 대책이 되지 못한다.

2) CT비 선정시 변압기 용량을 기준하고 있어 고장사태에서 본 것처럼 과도한 전류의 유입으로 선로 용단 등 중대 설비고장으로 진전될 개연성이 증가한다. 특히 전기 자격증 기술서적의 예제를 살펴보면 심각성은 더해진다. 보호계전기의 목적은 고장전류, 전압을 기준하여 고장을 제거하는 것이 과부하 보호가 우선은 아니다.

2.4 개선방안

2.4.1 고장전류 특성분석

그림-5는 양단의 내·외부 고장시 전류파형과 전류 Data 취득을 위해 12sample 방식을 간략하게 도시하였다. ①번 전류파형은 내부고장시 전류의 파형을 나타낸다. ②번 전류파형은 외부고장시 상대단의 전류파형을 표시하였다. 자단을 기준으로 상대단의 전류 파형은 내부고장인 경우에는 동일 위상이며, 외부고장에서는 180°의 위상특성을 가진다. 정상적인 상태에서는 외부고장시 비율차동계전기는 동작하지 않는다.

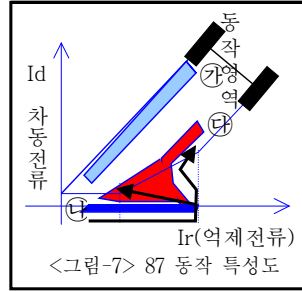


③번 전류파형은 외부고장시 CT포화발생으로 차전류가 발생한 전류파형이다. 이 경우 비율차동계전기는 비정상적으로 동작하여 불필요한 설비의 정지를 유발한다. 이때 연쇄적 고장의 시발점이 되어 광역정전으로 진행될 수도 있다. 고장사태에서 보듯이 현재의 보호계전기 알고리즘으로는 이런 유형의 고장에 부동작하도록 하는 것이 용이하지 않다.

2.4.2 비율차동계전기 동작특성

비율차동계전기는 제작사, 설비별 억제전류를 취하는 알고리즘은 조금씩 차이는 있다. 여기서, 동작전류는 $I_d = |I_1 + I_2|$ 이며, 억제전류는 $I_r = |I_1| + |I_2|$ 로 가정한다. 또한 자단전류(I1)와 상대단 전류(I2)는 각 1[A] 가정한다. 그림-7은 비율차동계전기의 동작 특성도이다. ㉔ 그래프 위치는 내부고장시 보호계전기의 동작특성도 위치이다. 내부고장시에는 보호장치의 결함이 없는 한 CT 포화 등에 관계없이 정상적으로 동작하

는 것을 알 수 있다. 즉, 동작전류와 차전류는 각 2[A]가 된다. ㉕ 그래프



는 외부고장시 동작특성도 위치이며, 정상적 조건에서는 동작영역에 포함되지 않는다. 즉 동작전류는 "0"에 가깝고 억제전류는 "2"가 된다. ㉖ 그래프는 CT 포화 발생시 동작특성의 분포도이다. CT 포화의 정도에 따라 동작영역 또는 부동작 영역으로 동작특성도가 이동한다. 철심의 특성상 CT 포화는 고장과 동시에 일어나지 않는 것이 일반적이다. 따라서, 고장발생 시초에는 ㉔ 그래프 영역에서 ㉕ 그래프 영역으로 이동한다. 이때 차전류가 발생하여 비율차동계전기는 동작하게 된다. 즉, 동작전류는 $I_d(0) \rightarrow I_d(0 \sim 2A)$ 로 증가하며, 억제전류(I_r)는 반대로 2~0A로 감소한다. CT 포화 뿐 아니라 원인불명의 전류차 발생시에도 유사한 형태로 동작궤적을 그리게 된다.

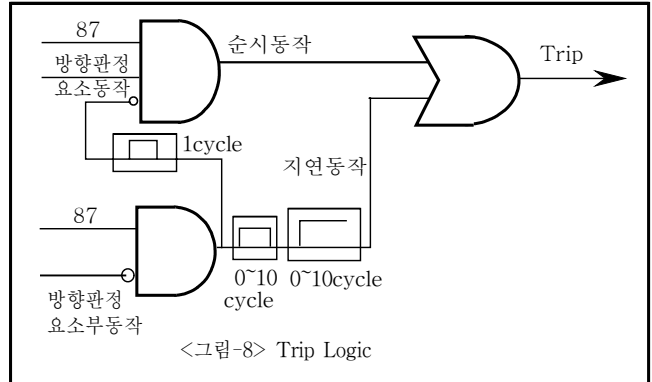
가 발생하여 비율차동계전기는 동작하게 된다. 즉, 동작전류는 $I_d(0) \rightarrow I_d(0 \sim 2A)$ 로 증가하며, 억제전류(I_r)는 반대로 2~0A로 감소한다. CT 포화 뿐 아니라 원인불명의 전류차 발생시에도 유사한 형태로 동작궤적을 그리게 된다.

2.4.3 알고리즘 개선

1) 비율차동계전기 방향판정 알고리즘 요소 추가

○ 내부고장 판별 : $|I_1 \angle \theta_1 + I_2 \angle \theta_2| < 90^\circ (\angle \theta_1 + \theta_2)$

내부고장전류의 경우 위상은 0° 전후의 값을 가지며 외부고장의 경우는 180°전후의 위상을 갖게 된다. 따라서 CT 포화 또는 써지 유형의 비정상 파형에 의한 오동작을 방지하기 위해 양단의 전류 위상차가 90°이내이면 내부고장으로 판정하여 동작하도록 하였다. 즉, 차전류가 발생하더라도 방향판정요소가 부동작하면 순시동작을 저지하고 지연동작하도록 하였다. 지연시간은 6cycle 지연을 추천한다. 위상 판정 요소의 Trip Logic은 아래와 같다.



2) 비율차동계전기의 Slope는 사용자가 선정할 수 있도록 가변적으로 구성되어야 한다. 계전기 유형에 따라 고정되어 있는 요소도 있기 때문이다.

2.4.4 보호장치 정정기법 개선

1) 주변압기 고압측 CT비 선정은 고장용량을 기준하여야 한다.

CT 2차측으로 100A이상의 전류가 흐를 경우 CT 포화 등으로 지연동작 또는 부동작이 발생하면 경우에 따라 화재 또는 설비손손의 요인이 될 수 있기 때문에 이를 고려하여 선정하여야 한다. 따라서 주변압기 용량기준이 아닌 고장용량을 기준하여 정정하는 것이 바람직하다.

2) 비율차동계전기의 비율특성은 가능한 40%이상 되도록 정정한다.

3. 결론

비율차동계전기는 내·외부고장을 판별하는 신뢰성이 높은 보호방식 이므로 설비보호의 주보호로 많이 사용하고 있으나 최근에 특이고장 유형의 비정상 동작사태가 증가하고 있다. 따라서 비정상 동작을 방지하고 보호계전기의 신뢰도를 제고하기 위해 다음과 같이 몇 가지 방안을 제시하였다. 첫째, 비율차동계전기의 동작 알고리즘을 추가로 제안한다. 기존의 단순한 Vector합에 의한 동작알고리즘을 보강하여 방향판정 알고리즘 $|I_1 \angle \theta_1 + I_2 \angle \theta_2| < 90^\circ$ 을 추가하였다. 둘째, 비율특성은 40%이상 되도록 정정하여 가능한 비정상적 차전류 발생에 의한 오동작을 방지하도록 하는 것이 중요하다. 셋째, 변압기 보호계전기 CT비는 고장용량기준으로 정정하도록 제안한다. 이는 과도한 고장전류 유입에 의한 설비손손 및 비정상 보호계전기 동작 개연성을 방지하기 위해서다. 아울러 보호장치의 동작신뢰성 확보를 위해 제작사는 지속적인 알고리즘 개선의지를, 전기사업자는 최적의 보호장치 정동작 환경을 유지하는 것이 필요하다.

[참고문헌]

1. 보호장치 운영기준 및 보호방식 적용방안 [한국전력거래소, 2003.5]