

단상변압기로 구성된 삼상 주변압기 보호시스템 분석

이종훤, 정우중, 신성식, 이형, 신창균
한국전력공사

Analysis of Differential Protection for 3 ϕ Y-Delta Transformer consist of Three 1 ϕ Transformers

Jong-Hweon Lee, Woo-Joong Jung, Seong-Sik Shin, Hyung Lee, Chang-Gyun Shin
KEPCO

Abstract - This paper analyzes operation sensitivity of a relay, a blind spot of differential protection relaying, and how to protect the blind spot in protective relaying of 3 ϕ Y-Delta transformer consisting of three 1 ϕ transformers which Korean pumped storage power plants have been using. Each different protective relays must be adopted because there are differences between 3 ϕ trans-former and 3 ϕ transformer consisting of three 1 ϕ trans-formers. Also, in the system using high resistance grounding for fault current restriction of delta side, protection for delta side faults have to be considered properly.

1. 서 론

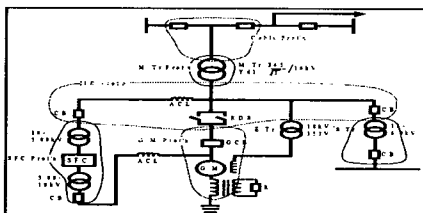
전력용 변압기는 제작단계에서 3상으로 제작되어 사용하는 경우와 단상변압기 3대를 현장에서 조합, 1Bank를 구성하여 사용하는 경우가 있다. 단상변압기 3대를 조합하는 방식은 우리나라 345kV 이상의 계통에서 사용하는 변압기와 같이 대용량 변압기 대부분에 적용되고 있고 수력이나 양수발전소처럼 변압기의 설치 장소가 터널 내에 있으므로 인해 크게 제작할 수 없는 경우 단상 3대를 조합하여 사용하기도 한다. 단상변압기 3대를 조합하여 1Bank로 구성하여 사용하는 Y-Delta 변압기의 경우 3상으로 제작된 변압기와는 다른 보호계전 방식이 적용되어야 한다. 일반적으로 변압기 보호 전류 비율차동 계전기는 변압기의 붓싱 CT를 사용하게 되는데 3상으로 제작된 변압기는 CT가 변압기 델타 권선 외부에 설치되는 반면 단상 3대 1Bank 조합 방식의 전력용 변압기는 CT가 델타 권선 내부에 설치되게 된다. 이와 같은 CT의 설치 위치에 따라 계전기에서 바라보는 전류의 크기가 $\sqrt{3}$ 만큼 달라지기도 하고 위상각이 변압기 Vector Group만큼 변하기도 한다. 또한 3상 권선이 하나의 탱크 내부에 존재하기 때문에 발생되는 간섭효과나 각상이 각각 다른 탱크에 설치되기 때문에 상간 단락 사고가 일어날 확률이 거의 희박하므로 주보호 기능을 어떻게 구현하는지는 기술적으로 고려할 보호상 차이이기도 하다.

본 논문에서는 단상3대로 조합하여 1Bank 방식으로 사용하고 있는 우리나라 양수발전소 변압기 보호계전방식에 있어서 계전기의 동작 감도상 문제, 전류비율차동계전기의 보호상 맹점이 어떻게 존재하는지 또한 그 맹점을 어떻게 보호 하는지를 분석한다.

2. 본 론

2.1 양수발전소 단선도

<그림 1>은 양수발전소 전력설비의 보호 구역을 나타낸 것으로 우리나라 양수발전소 일반적인 보호 시스템 구성이다. 주변압기 델타측-IPB 보호구역은 발전기 차단기(GCB)가 투입되기 전, 즉 G/M가 계통병입 되기 전에는 비접지 계통으로 운전되는 구간이다. 그러나 일단 발전기(Motor)가 계통에 병입되면 저항접지 형태의 접지구조를 가지고 운전하게 되는데 발전기(Motor)는 배전변압기 2차 저항부 접지방식으로 접지 운전을 하고 있으며 일반적으로 10-20A로 지락 고장 전류를 제한하고 있다. 각 설비들의 주 보호방식은 전류차동 방식을 적용하며 청송양수의 경우 IPB 보호만 전압 자동 방식을 적용하여 보호하고 있다.

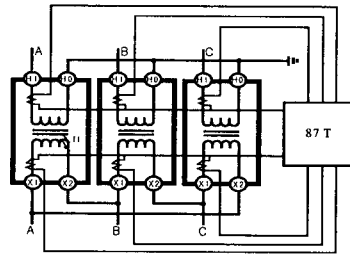


<그림 1> 단선도

2.2 변압기 보호시스템 분석

주변압기로 3상 변압기를 적용한 경우와 단상변압기 3대를 1Bank로 구성된 경우 고장 양상이 다소 다르다. 3상 변압기는 3상권선이 하나의 탱크 내에 존재하므로 지락, 상간단락, 층간단락 등 여러 가지 복합 고장이 날 수 있는 반면 단상변압기3대로 1Bank를 구성한 경우 변압기에서 상간 단락이 일어날 가능성은 거의 없다. 보통 Y측은 직접접지 계통으로 운전하기 때문에 3상 변압기나 단상변압기로 구성된 탱크 모두 지락고장을 검출 하는데 별다른 어려움이 없다. 그러나 델타 측은 사정이 다르다. 발전소와 같이 변압기 델타측이 고저항 접지방식으로 고장전류를 제한하는 시스템에서는 변압기 델타측 고장검출에 대하여 세심한 고려가 되어야 하므로 가능한 한 좋은 감도의 보호시스템을 중첩 구성 하여야 한다.

2.2.1 Delta측 CT 한 대로 구성된 보호방식

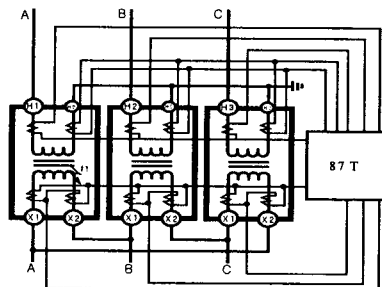


<그림 2> CT 1대 구성 회로

<그림 2>와 같이 변압기 보호 87T 전류차동 회로에 델타측 CT 하나만 적용할 경우 f1 고장에 대해 Source A상만 고려한다면 고장 전류가 없지만 A상의 X2측은 B상의 X1과 동전위인 지점이므로 f1 지락 고장시 Source B에서 고장전류를 공급하게 된다. 그러나 B상에서 공급되는 고장 전류를 감지할 CT가 없으므로 계전기는 부동작하게 되고 고장 차단을 할 수 없다. 층간단락 고장시는 CT 하나만 구성하는 경우에도 고장을 감지 할 수는 있다. 그러나 고장 감도가 다소 떨어지는 문제가 있으므로 CT비 선정에 신중을 기하여야 한다. 특히 변압기 델타 측 지락 고장시 고장전류가 많이 흐르는 접지 계통에서는 이러한 방식의 보호회로 구성은 바람직하지 않으며 2.2.2항과 같은 보호회로를 구성하여야 한다.

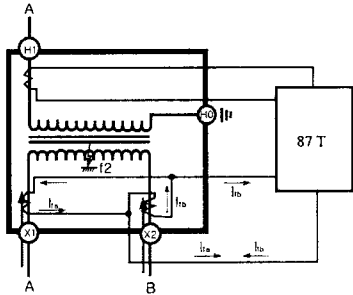
2.2.2 Delta측 CT 두 대로 구성된 보호방식

전류 비율차동 계전기 보호 회로를 <그림 3>처럼 델타측 CT를 병렬로 구성하면 f1 고장에 대해서 CT 하나만 적용할 경우와 비교해 보호계전기의 동작이 달라진다. CT를 병렬로 사용하면 A상의 X2측에 설치된 CT가 B상에서 공급한 고장전류를 감지하므로 87T의 A상이 동작하여 고장을 차단하게 된다. 그런데 이러한 보호회로 구성 역시 또 다른 보호 맹점과 같은 보호 계전기 동작 감도가 상당부분 줄어드는 고장 구간이 발생 한다.



<그림 3> CT 2대 구성 회로

<그림 4>는 A상의 보호계전기 구성만 나타낸 그림으로 A상 권선의 중간지점에서 변압기권선의 지락 고장 I2가 발생했다고 가정하면 Source A와 Source B에서 동시에 고장전류를 공급하게 되고 CT회로 결선상 Source A와 Source B에서 공급되는 고장전류는 서로 상쇄시키는 방향으로 계전기에 유입되게 된다. 만약 Source A와 Source B의 고장 전류가 동위상이라 가정하면 계전기로 유입되는 고장전류(차전류)는 Zero가 되고 계전기는 부동작 한다. 또한 Source A와 Source B의 위상차 120°가 그대로 고장전류에 반영된다 하여도 보호계전기로 유입되는 고장전류는 정확히 권선의 중앙에 고장이 발생 하였을 때 50%로 반감하게 된다. 이는 계전기의 명점부분이 각상 권선의 중앙 부위가 된다는 의미이다. 그러나 이 경우는 변압기 델타 축의 지락 고장전류가 크게 흐르는 계통의 경우에 해당하는 것으로 발전소와 같이 지락전류를 10~20A로 제한하는 경우는 사정이 다르다.



<그림 4> A상 보호계전기 회로도

다음은 변압기 델타축의 지락 고장전류가 제한되는 발전소의 변압기 보호는 어떤 방식으로 적용하는지를 양수 발전소를 예로 분석하고자 한다.

2.3 양수발전소 보호방식 분석

2.3.1 지락고장 보호

현재 변압기 보호 전류차동계전기는 2.2.2항의 <그림 3>과 같이 구성하여 적용 하고 있는데 변압기 Y축 권선 지락 고장시 보호가 가능하며 변압기 중성점측 CT를 입력하여 Y축 내부 지락고장시 동작 감도를 좋게 하고 외부 지락 고장시 동작을 억제토록 한다. 그러나 변압기 델타권선 지락 고장 발생시는 지락 고장전류를 최대 12.4A로 제한하고 있으므로 동작할 수 없다. CT를 병렬로 결선, 입력 하여도 단락에 대한 보호계전기 동작 감도를 좋게 하는 효과는 있지만 지락고장에는 대응하지 못한다. 현재 델타축 지락 고장 보호는 과전류 계전 방식을 적용하지 않고 과전압 계전 방식을 적용하여 보호 한다. 델타 축에 설치된 PT의 3상 전압을 입력, 영상 과전압을 검출하여 지락을 보호 하고 있는데 영상과전압(59NT)이 정격 전압의 30% 이상 발생시 2sec, 60%이상 발생시 1sec에 동작하도록 영상과전압계전기(59NT)를 정정하여 보호 하고 있다. 영상 과전압 계전기를 Trip으로 적용할 때 주의해야 할 사항은 영상과전압 계전기는 PT Fuse 단선시 오동작할 수 있으므로 전압평형계전기(60) 변압기를 Blocking 요소로 설치하여 신뢰도를 확보하는 것 또한 잊지 않아야 한다. 그런데 여기서 한 가지 문제가 있다. 변압기 델타 축 권선에 지락 고장이 발생하면 주 보호 계전기인 87T는 앞에서 언급했듯이 부동작하게 되고 후비보호 59NT는 1~2sec 후에 동작하게 되므로 발전기 보호반에 설치된 발전기 Stator 보호영상 과전압 계전기가 먼저 동작하게 된다. 그렇게 되면 발전기 차단기가 먼저 트립되게 되고 변압기 델타 축은 비접지 계통으로 전환되면서 1~2sec 후 비로소 변압기 보호반 86계전기를 동작시키는 지연 트립 문제가 발생한다. 이러한 보호계전기 동작은 고장을 분석하는데도 상당한 어려움을 초래한다. 즉, 변압기 델타축 권선 지락 고장에 발전기 보호 영상 과전압 계전기가 동작했으므로 변압기측 지락 고장 인지 발전기 Stator의 지락 고장 인지를 신속히 판단하여 복구하는데 혼선을 초래한다. 이러한 고장시 분석 방법은 발전기 영상 과전압 계전기만 동작하여 발전기 차단기만 Trip될 경우는 발전기 Stator의 지락 고장일 확률이 높고, 발전기보호 영상과전압 계전기 및 변압기 보호 영상과전 계전기가 동시 동작 했을 경우는 변압기 델타 권선의 지락 고장일 확률이 매우 높다.

2.3.2 단락고장 보호

단락고장은 중간 단락과 상간 단락, 1-2차 권선간 단락 등 여러 가지 고장 유형이 있는데 주로 전류비율차동계전기(87T)가 보호를 담당하고 있다. 단상변압기 3대를 조합한 Y-Delta 변압기이므로 87T의 주보호 대상으로 Y축은 지락 및 중간 단락, 델타 축은 중간 단락고장이라 할 수 있다. 87T 전류 회로는 2.2.2항의 <그림 3>과 같이 구성하여 보호하고 있는데 일반적으로 계전기에 입력되는 정상 전류는 CT 2차 정격인 5A를 넘지 않게 보호 시스템을 구성한 반면 양수발전소의 경우 이러한 구성은 우리나라 모든 양수 발전소

가 거의 동일하다. 변압기 정격 (350MVA)에서 CT를 병렬로 구성하여 계전기에 입력되는 정상 전류가 5.4A로 정격을 초과하고 있다. 다음 <표 1>은 청송양수 발전소 주변압기 관련 87T 보호계전기 정정 입력 자료를 나타낸 것이다. 정상 전류가 크게 입력 되도록 설계되어 있음을 알 수 있다.

<표 1> 87T 정정자료

구분	1 차	2 차
Rated Power	350MVA	
Vector Group	YN	d1
Rated Voltage	345/√3 [Ⓐ]	18 [Ⓐ]
Rated Current	586A	11226A
CT Ratio	1200/5A	12000/5A

위 자료를 바탕으로 350MVA 정격 운전시 계전기 입력 자료를 계산해 보면 변압기 1차측(Y축) 정격전류는

$$350000 \div (345 \times \sqrt{3}) = 585.7A \text{ 이고}$$

계전기에 입력되는 전류는

$$585.7 \times (CTRatio) = 585.7 \times (5/1200) = 2.44A$$

(Y권선측 Normal Current)이다.

변압기 2차측(Delta축) 정격전류는

$$350000 \div (18 \times \sqrt{3}) = 11,226A \text{ 이고}$$

11,226A는 Delta축 권선의 Delta 외부의 전류 이므로 Delta 권선 내부전류는 $11226 \div \sqrt{3} = 6481A$ 가 된다.

CT 2차로 환산하면

$$6481 \times (CTRatio) = 6481 \times (5/12000) = 2.7A$$

Delta권선은 12000/5A CT를 병렬 입력 하므로 계전기 입력 정상 전류는 5.4A가 된다. 계전기 Input Device의 연속정격이 정격의4배 (20A), 단시간 정격이 100배(500A-1sec)인 점을 고려할 때 정상 전류가 정격전류를 초과하는 것이 큰 문제는 아니지만 계전기에 결선되는 CT 케이블 등 각종 입력 회로를 고려하고 30년을 운전해야 하는 설비 특성상 바람직하지는 않다.

3. 결 론

단상변압기 3대로 Y-Delta 방식의 1Bank를 구성하여 사용할 때 변압기 보호용 전류 비율차동계전기 전류회로에 델타축 CT는 병렬로 구성하여 사용하는 것이 적절하다. 변압기 델타축 지락고장시 고장전류가 적어 비율차동계전기가 지락보호는 못하는 계통이라 할지라도 중간단락 보호 감도를 제고하고 예상치 못한 변압기 고장에 대비 보호 맹점이 없도록 해야 한다. 다만, 정격 운전시 정상 전류가 CT 2차측 정격을 초과하지 않게 외부에서 병렬로 구성하여 입력하기 보다는 각각의 CT를 계전기에 따로 입력한 후 계전기 내부 알고리즘으로 처리하는 것이 바람직하다. 또한 변압기 델타축 권선 지락 고장시 고장구간을 신속히 판단할 수 있도록 변압기 권선 양측 CT를 병렬로 구성하여 권선 지락 고장에만 동작하도록 회로를 구성한 전류평형 계전기를 경보용으로 설치하는 것을 추천한다.

[참고문헌]

- [1] ABB Relay Instruction Manual
- [2] 이중환 외 2, TM.C97ES01.R2004.438, 2004