

변압기 보호를 위한 유도원판형 비율차동계전기의 오동작 방지에 대한 연구

박양권* **, 변영준* **, 어익수*

*호남대학교, **한국전기안전공사

e-mail: deepon@hanmail.net

A Study on the Prevention of Malfunction of Induction Disc Type Ratio Differential Protective Relay for Transformer Protection

Yang-Kwon Park* **, Young-jun Byun*, ik-soo Eo*

*Dept. of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

**Korea Electrical Safety Corporation, Honam University

요 약

최근, 전기설비의 최첨단화 및 대용량화가 되어 가는 추세로 대부분의 전기계통 고장확인 은 육안으로 식별이 곤란하여 보호계전기의 동작을 통해 고장구간을 판별하고 있으나, 보호계전기의 보호범위가 넓고 광범위하여 정확한 고장개소 판별에 많은 시간, 인력 및 비용이 수반된다. 따라서, 본 논문에서는 특고압용 변압기의 유도원판형 비율차동계전기로 변압기 내부 고장시 자동차단장치로 설치되는 전기적 보호 장치인 비율차동계전기(RDR, ratio differential relay, percentage differential relay) 87T의 오동작 사례와 발생 메커니즘을 분석하고, 비율차동계전기의 오동작 방지 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘 및 시험장치 구현을 바탕으로 비율차동계전기의 오동작 특성을 분석한 결과, 제안한 알고리즘에 따라 비율차동계전기를 운용할 경우, 별도의 보상변류기(CCT, compensating current transformer), 배선결선 및 CT설치 위치 변경 없이도 오동작을 방지할 수 있어, 본 논문에서 제시한 알고리즘의 유용성을 확인하였다.

1. 서론

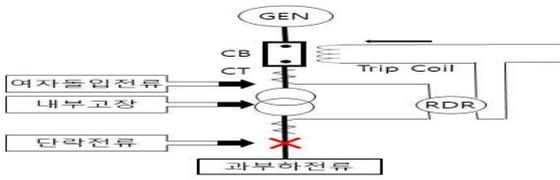
최근, 전력계통은 발전소, 변전소, 송배전선 및 부하가 유기적으로 밀접하게 연계되어 있어서 전력의 발생에서 소비 까지 행하고 있다. 이와 같이 전력계통의 주요 구성요소는 발전기, 변압기, 모선, 송배전선, 전동기 및 정지부하 등 이지만 이들 기기만으로는 안전한 계통운전을 할 수 없고, 제어·측정 장치 및 보호 장치 등이 필요하다. 보호대상물에 발생하는 이상상태에 응동하여 피해의 감소를 도모하고 그 과급을 최소화하기 위해 적절한 조치를 취하는 것을 목적으로 하는 계전기가 적용된다. 또한, 과학화, 정보화 시대로 진입에 따라 발전소의 고품질 전력공급은 필수적이며 도발적인 정지는 사회적 혼란 및 경제적 손실 등을 초래하게 된다. 여기서 한국전기 설비규정 351.4에 의한 특고압용 변압기의 보호 장치 시설에서 변압기 내부에 고장이 생겼을 경우 보호 장치를 시설하여야 한다. 특히 변압기 뱅크용량 10,000 [kVA] 이상에는 내부 고장시 자동차단장치를 시설한다. 그런데 규정에 따라 시설하여도 실제 사용 중 계전기가 동작하지 않아야 할 경우에 동작하는 오동작 사례가 빈번히 발생하고 있다. 이로인 원하지 않는 정전사고가 발생하고 있어 이에 대한 대책으로 관심이 집중 되고 있다. 따라서 본 논문에서는 특고압용 변압기의 보호 장치로

변압기 내부 고장시 자동차단장치로 설치되는 전기적 보호 장치의 비율차동보호계전기의 오동작 사례와 발생 메커니즘을 분석하고, 비율차동계전기의 오동작 방지 알고리즘을 제안 한다. 별도의 배선결선 및 계기용 변류기의 설치 위치, CCT의 변경 없이도 오동작을 방지할 수 있어, 본 논문에서 제시한 알고리즘의 유용성을 확인하였다.

2. 비율차동계전기 오동작 메커니즘 및 분석

2.1 비율차동계전기의 특성

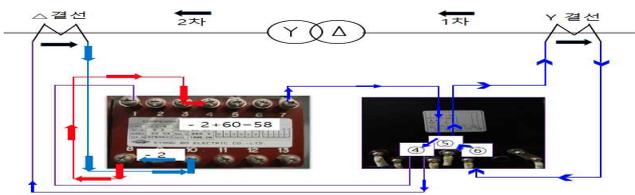
변압기 전기적 보호방식 중 비율차동계전기는 전류 차동 회로에 계전기를 연결하여 정상상태 및 외부사고에는 계전기 입력전류가 평형이 되어 계전기가 동작하지 않도록 하고 내부의 사고에 계전기가 동작하여 변압기를 보호하도록 하는 방식이다. 그림 1은 계통의 전기적 현상을 나타내며 계통의 전기적 현상이며 이들의 조건으로 내부 고장 시 계전기가 동작 한다. 여기서, 비율차동 유도원판형으로 2권선 변압기 보호와 회전기 권선 보호로 쓰이며 간단한 구조로 보수가 용이하고 가격이 저렴하다. 변압기 보호용의 최소동작전류는 0.7~2.5[A], 동작비율은 35~125[%] 정도이며 동작시간은 300[ms]~2[S]이다.



[그림 1] 계통의 전기적 현상

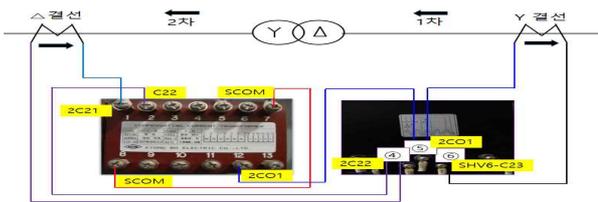
2.2 비율차동계전기의 오동작 메커니즘

실제 산업현장은 각변위 Dyn11, 1차 전압 22.9[kV], 2차 전압 22.9[kV], MTR#1, MTR#2 판넬의 변압기 용량 10,000[kVA] 각각 1대씩 설치되어있었으나 보호계전기의 오동작 사례가 발생하여 정전으로 인한 막대한 손실을 초래한 사례하였다. 그림 2는 유도원판형 비율차동계전기 정결선도 나타낸 것이다.



[그림 2] 비율차동(유도원판형)계전기의 정결선도

그림 3은 유도형 비율차동계전기 산업현장의 오결선도를 나타낸 것이며 이때의 실제 측정 전류 값은 표 1과 같다.



[그림 3] 87T GCR-CD5 Type 현장 결선도(오결선)

[표 1] 산업현장 87T 실제 측정 전류값[A]

구분	계전기 단자대 4번 2차측 억제코일	계전기 단자대 5번 동작코일	계전기 단자대 6번 1차측 억제코일
A	2.31	2.25	2.15
B	2.39	2.21 (2.27/2.27)	2.14
C	2.27	2.27 (6.78[mA]/2.28)	2.07

표 2는 산업현장 실제 설치된 변압기 용량을 기준으로 계산한 값을 나타낸다.

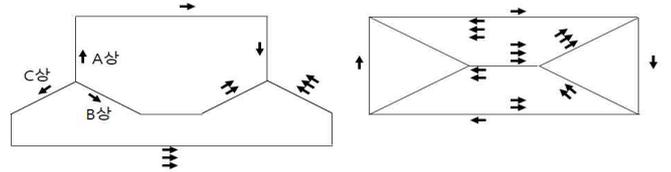
[표 2] 변압기 용량에 따른 계산값

구분	전류	
TR 11,000[kVA](22.9:22.9kV) Δ-Y 결선	변압기1차	변압기2차
TR 1차 정격전류(I_1)	277.3[A]	277.3[A]
변류비(CT ratio)	400/5 (N=80배)	400/5 (N=80배)
CT의 2차 전류($i = I_1/N$)	3.466[A]	3.466[A]
CT의 결선	Y	Δ
- TR 1차, 2차측 CT의 2차측 전류 - 변류기 Δ접속 ($i\Delta = \sqrt{3}i$, $\sqrt{3}$ 상전류를 선전류로 환산) - 변류기 Y접속($iY=i$)	3.466[A]	6.004[A]

CCT 전류 값 계산으로 1차, 2차 측의 계산 값 57.73[Turns]로 1차, 2차 측의 2차 전류는 CCT의 Tap으로 58[Turns] 결선한다. 현장에는 변압기 11,000[kVA]의 보상변류기의 결선이 50 [turns], 104[turns]로 분류되어 있다. 현장을 58[turns]변경하여 CCT Turns의 계산 오류에 의한 87T의 오동작을 해결할 수 있었다. 또한 계전기와 1차, 2차 CT, CCT의 제어배선은 오결선 상태로 표준결선도를 참조하여 재배선을 하였다.

2.3 비율차동계전기의 오동작 메커니즘 분석

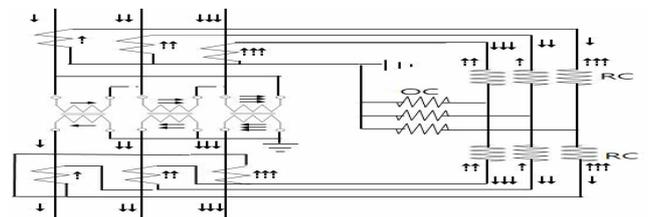
그림 4는 보호계전기의 3상회로, CT회로, 계전기 접속회로이다.



[그림 4] 정상상태에서 3상 변압기 각상의 전류흐름

여기서, 3상 변압기의 1차 코일의 A상 →, B상 ⇌, C상 ⇌의 전류가 흐른다면 2차 측에도 상쇄($I_A + I_B + I_C = 0$)되는 같은 전류가 흐른다. 교류회로의 암페어 턴에서는 변성기의 여자전류를 무시할 수 있는 일이 많아 계전기 회로에서는 계기용 변류기와 계기용변압기, 변압기류 회로에 널리 사용할 수 있다.

또한, 그림 5와 같이 변압기 비율차동계전기의 회로 점검을 나타낸 것이다. 변압기가 정상이고 전류가 변압기 1차와 2차 사이에 흐를 경우이며 → 표시는 변압기로부터 흐르는 전류이고 ⇌ 표시는 CT 2차 전류의 흐름을 나타낸다.



[그림 5] 비율차동계전기의 회로 점검

3. 오동작 방지 알고리즘

상기의 사고전류 메커니즘에 따라 오동작 방지를 위한 비율차동계전기의 동작이 적정하게 운용하는 알고리즘을 나타내면 다음과 같다.

[STEP 1] 수배전설비의 계통의 단선결선도를 검토한다. 특히, 1차 CT, 2차 CT의 설치위치를 확인한다.

[STEP 2] CT의 결선방향을 확인하며, 결선방향(K-L)은 계통전원측에서 부하측으로 향하는 것을 1차 CT의 정방향으로 상정한다.(부하측에서 계통전원측으로 향하는 것을 2차 CT)

[STEP 3] 변압기 1차측 정격전류와 2차측 정격전류를 계산하고 오동작 방지를 위한 여유율 고려하여 CT비를 선정한다.

[STEP 4] CT비 선정에 따른 1차 CT의 2차 전류와 2차 CT의 2차 전류를 계산하여 확인한다.

[STEP 5] 변압기 명판확인을 통해 변압기 1차와 2차 결선 방식, 각변위 확인한다.

[STEP 6] 1차와 2차 전류의 전류 보상을 위한 CCT 설정을 위해 $N_1 : I_1 = N_2 : I_2$ 활용하여 전류보상 탭을 선정한다.

[STEP 7] 보상 CT선정은 높은 전류를 낮은 전류로 맞춰 선정한다.(보상 CT의 계산 값 숫자 둘째자리가 1~5 범위 이내인 경우 8번~13번으로 연결시 각각 1[turn]씩 증가, 6~10 범위이내인 경우 13번~8번으로 연결시 각각 1[turn]씩 감소)

[STEP 8] 이상적인 탭값과 실제 탭값을 차이를 계산하고 두 개의 값 중 작은 값으로 나눠 백분율로 환산한 값인 부정합률을 검토하여 $\pm 5\%$ 범위 이내로 선정한다. 초과 시에는 전류 Tap 재선정 및 결선 상태를 확인하여야 한다.

[STEP 9] 변압기 1차와 2차간의 각변위가 차가 있을 경우 계산값에 의해 2차측에 보상 CT를 설치하고, 2차 CT의 Δ 결선시 1차 보다 2차가 $\sqrt{3}$ 배 커지는 것을 고려하여 전류값이 $\sqrt{3}$ 배 보정하는 역할을 한다.

[STEP 10] 1차측 CT와 2차측 CT 각각 최소동작전류 설정치의 $\pm 10\%$ 범위 이내에서 pick up 여부를 확인한다.

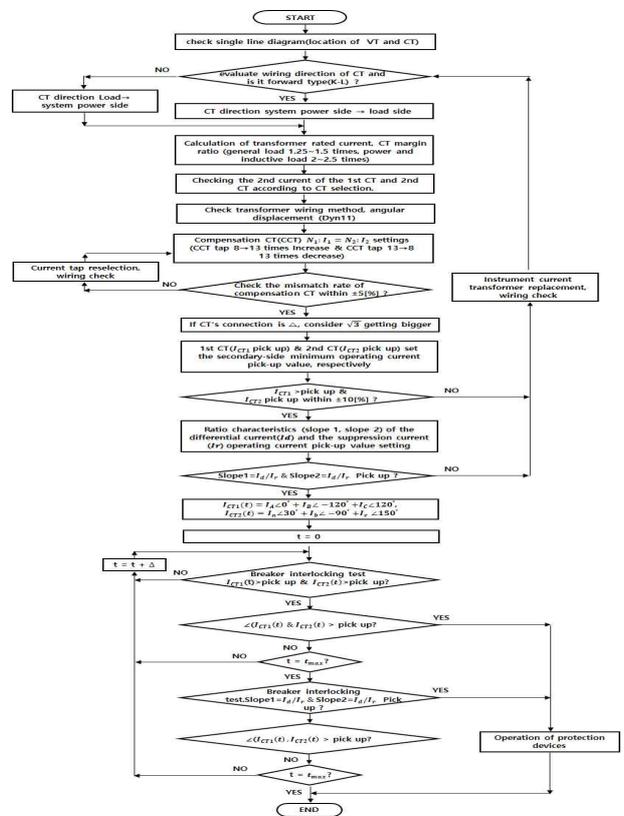
[STEP 11] 변압기 각변위를 기준으로 비율 시험 특성

동작확인을 위한 비율 탭을 기준으로 차전류(I_d)와 억제전류(I_r)의 설정치의 $\pm 10\%$ 범위 이내 동작여부를 확인한다.

[STEP 12] 차단기와 연동하여 동작시험을 실시하고 동작 시간 특성곡선을 참조하여 300[%] 시험시 동작시간 기준 $\pm 10\%$ 범위 이내에서 동작하는지 여부를 확인한다.

[STEP 13] 최소동작전류 및 비율특성에 의한 동작여부를 확인하고, CT 결선에 따른 오동작을 피하기 위하여 1차 CT와 2차 CT 설치방향에 대한 설정기준을 명확히 해야 한다.

상기의 절차를 플로차트로 나타내면 그림 6과 같다.



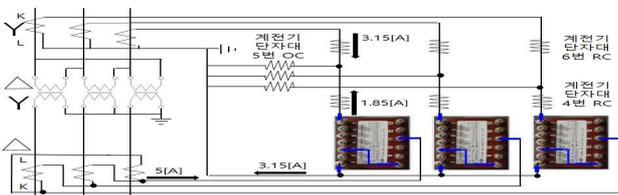
[그림 6] 유도형 비율차동계전기 오동작 방지를 위한 알고리즘

4. 비율차동계전기의 시뮬레이터 구현

4.1 유도원판형 보호계전기의 구성

보호계전기 오동작 방지 알고리즘을 바탕으로 전기설비 현황 22.9/6.6[kV], 수전용량 10,000[kVA], 1차 Δ 결선 2차 Y결선에 1차 대비 2차가 30° 빠른 Dyn11 변압기를 계산하여 그 값을 기준하고 분석한다. 여기서, 유도원판형 비율차동계전기 단자대 결선도를 나타내며 1번 단자는 DC전원의 +극, 9번은 DC 전원의 -극이므로 결선시 오동작에 주의하여야 한다.

4.2 오동작 방지 알고리즘 적용한 분석 및 결과
 전기설비 현황을 바탕으로 전류 및 동작 시험 등을 통해 오동작 메커니즘을 알아보면 변압기 1차측 정격전류는 252.1[A], 변압기 2차 정격전류는 874.8[A]이며 오동작 방지를 위한 여유율 고려하여 CT비 1차 CT는 400/5[A], 2차 CT는 1500/5[A] 선정을 한다. 1차와 2차 CT비를 선정한 후 각각 CT 2차측의 2차 전류를 구하여 실제 비율차동보호계전기 회로의 전류 흐름을 할 수 있다. CT의 설치방향은 단선결선도를 통해 K-L로 서로 마주보고 있는 구조이며 변압기 1차(Δ)와 2차(Y)의 위상차를 보정하기 위해 변압기 결선의 반대로 CT의 1차(Y)와 2차(Δ)를 결선한다. 변압기 각변위에 따른 1차와 2차의 위상차 30°와 CT 2차 Δ 결선시 $\sqrt{3}$ 배 커짐을 고려하며, 1차 CT의 2차 전류 3.15[A], 2차 CT의 2차 전류 5.05[A]이다. 1차와 2차 전류의 전류보상을 위한 CCT설정은 $N_1 : I_1 = N_2 : I_2 \rightarrow N_2 = 62.37$ 을 활용하여 근접한 63[turns]를 선정하고 부정합률은 1.01[%]로 ± 5 [%] 범위 이내 확인한다. CCT는 전류 탭이 높은 전류를 낮은 전류로 맞춰 선정하며 계산값에 의해 2차측에 CCT를 설치하고, 2차 CT의 Δ 결선이므로 1차 보다 2차가 $\sqrt{3}$ 배 커지는 것을 고려하여 $\sqrt{3}$ 배 커질 수 있어 전류차 생기는 것을 보정하는 역할을 한다. 최소동작 시험은 비율Tap은 35, 50, 75, 100, 125[%]로 구분되며 최소 동작전류를 참조하면 억제코일에 10[A]의 전류가 흐르면 동작 코일에 각각 2.2, 3.5, 4.5, 5.8, 6.9[A] 이상이면 계전기가 동작한다. 여기서, 최소동작시험을 하며 CT 1차측의 2차 최소동작전류 실제전류는 1.37[A] ± 10 [%] 범위이며, CT 2차측의 2차 최소동작 전류는 2.5[A] ± 10 [%] 범위이다. 비율시험은 비율Tap은 35, 50, 75, 100, 125[%]에서 억제전류 10[A]로 가정시 비율특성(차전류/억제전류) 35/10, 50/10, 75/10, 10/10, 125/10[A]와 같이 계산으로 1차 CT에 10.25[A] 차전류 인가하고, 2차 CT에는 5[A] 억제전류를 고정시켜 근접한 값에 동작하는지를 확인한다. 차단기와 연동하여 동작시험을 실시하고 동작시간 특성은 300[%] 시험시 0.6[S] ± 10 [%]이내 동작하는 것을 확인한다. 그림 9와 같이 비율차동계전기의 전류흐름 복선결선도를 나타내며 전류측정기(HIOKI 3283) 활용하여 전류를 측정한 결과이다.



[그림 9] 유도원판형 비율차동계전기 전류흐름 복선결선도

따라서, 본 논문에서 제시한 오동작 방지 알고리즘을 바탕으로 계기용변성기의 정방향 및 최소동작전류, 비율특성을

설정하면, 별도의 배선결선 및 CT설치 위치 변경 없이도 유도형 비율차동보호계전기의 오동작 문제점을 해결할 수 있음을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 CT 결선 방향 및 보호계전기의 설정 오류로 인한 유도원판형 비율차동계전기의 오동작·오부동작 발생 메커니즘을 분석하기 위하여, 시뮬레이터를 구성을 통해 유도원판형 비율차동보호계전기 시험 장치를 구현하여 특성 시험을 수행하였다. 이에 대한 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 비율차동계전기의 오동작·오부동작 메커니즘을 분석한 결과, 현장에서 CT 결선 방향을 혼동하거나 CCT 유도원판형 비율차동보호계전기의 설정 시 CCT 설치위치 및 내부 결선, 1차 CT와 2차 CT의 설치형태에 따라서 비율차동계전기가 오동작·오부동작 할 수 있음을 확인하였다.
- (2) 비율차동보호계전기의 오동작 방지를 위해 별도의 배선 결선 및 CT 설치 위치 변경 없이도 오동작 문제점을 해결할 수 있도록 오동작 방지 알고리즘을 제안하였다. 이에 따라서, 비율차동보호계전기가 전력용변압기의 외부사고에는 동작하지 않고 내부 사고에만 정상적으로 동작할 수 있음을 확인하였다.
- (3) 유도원판형 비율차동보호계전기의 오동작 발생 메커니즘을 분석하기 위하여, 시험 장치를 구현하였다. 이를 바탕으로 CT를 역방향(L-K)으로 설치할 경우, 변압기의 내부사고시 오동작·오부동작됨을 알 수 있었다. 따라서 오동작 방지 알고리즘에 의하여, 비율차동보호계전기의 계기용 변성기의 방향(정·역방향) 및 CCT의 변경시켜, 시험장치 오동작·오부동작을 방지할 수 있었다.

참고문헌

- [1] Korea Electrical Safety Corporation, "Protection relay practice". pp. 4, 2012.
- [2] Hyun-soon Ko, "An Algorithm Development for Refining Fault Discrimination in Power Plant Electrical Systems Based on Combined Operation of Percentage Differential Relays", The Graduate School, Hanyang University, G901:A-0005961150, pp. 1, 2016.
- [3] LS electric Training Center, "Digital protection relay practice V. Transformer protection relay, pp. V-11, 2014.