

**발전소 근단 고장시 CT 포화에 따른 보호계전기 동작 분석**

오세일, 이명희, 윤장완, 장성익, 이종훈  
한국전력공사

**Analysis of protection relay's operation with CT saturation during the power plant's fault**

Oh S.I, Lee M.H, Yoon J.W, Jang S.I, Lee J.H  
KEPCO

**Abstract** - 전력계통에 고장이 발생할 경우 dc성분이 많이 포함된 고장전류가 발생될 가능성이 높아진다. 이때, 고장이 발생 되었다가 dc성분이 소멸되면서 만들어진 자속이 CT의 포화에 가장 큰 영향을 미치게 된다. 특히 발전소 구내에서 고장이 발생되면 dc성분이 많이 포함된 고장전류가 발생되어 CT가 포화하는 현상을 자주 볼 수 있다. 이로 인해 보호계전기에 유입되는 2차 전류가 왜곡되고 이로 인해 보호계전기가 오동작을 하게 된다. 본 논문에서는 대용량 발전소의 스위치야드 차단기 혹은 모선에서 발생한 고장으로 Unit 보호계전기가 오동작한 사례를 분석한 내용이다.

**1. 서 론**

고장 전류에 dc성분이 많이 포함될 경우 CT가 포화됨으로써 계전기 응답에 장애가 발생하는 경우가 발생한다. 이는 계전기에 유입되는 2차 전류가 왜곡되어 발생하는 것으로 계전기의 비정상적인 동작을 유발시킨다. 이에 본 논문에서는 발전소 구내의 모선 고장시의 고장을 분석하고 Unit 보호계전기의 특성 및 동작을 분석하여 그 대책을 제시한 사례를 중심으로 서술하였다.

**2. 본 론**

**2.1 고장 개요**

- 1) 고장발생 시점 : 2004. 6. 19
- 2) 고장 경위 : A 발전소 345kV No.2 BUS 환선상태에서 모선측 ES(7352)가 투입되어 3상 지락·단락고장이 발생, Unit 보호계전기(87GT)가 오동작하여 발전기가 정지하였다.(발전소의 이름은 A발전소로 함)

3) 계전기 특성

- 유형 : 전류 비율차동 계전기 DTN 920-3(ABB)
- 기본 특성
  - ① 가변 비율 특성 내장
  - ② 제2 보조파 억제 특성 내장
  - ③ 위상 보상 특성 내장
  - ④ Ratio 보상 특성 내장
  - ⑤ DC 전류 억제 특성 없음.

4) 사용 CT Tap

- 22kV 발전기 Common측 25000/5A, C800
- 22kV UST 고압측 25000/5A, C800
- 345kV 모선측 CB(72CB) 2000/5A, C400
- 345kV 중앙 CB(00CB) 2000/5A, C400
- (345kV CT의 Full Tap은 2000/5A, C800)

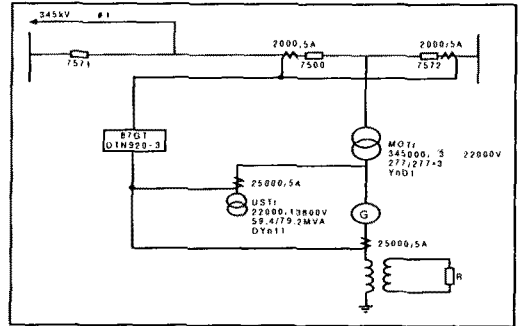


그림 1. 기본 계통도

**2.1.1 고장 상태 분석**

- 1) 고장상 순서 : B상→A상→C상 순으로 고장 발생
- 2) 고장 발생시 아크 발생시간 : 14ms  
(최초 고장이 발생하여 3상 완전 지락까지의 시간)
- 3) 고장 전류 지속시간 : 51ms
- 4) 고장 전·후 1Cycle 전류성분 분석(오동작 발전기)

| 상 구분 |   | 기본파     | dc성분    | 2고조파   | THD   |
|------|---|---------|---------|--------|-------|
| A    | 전 | 18,425A | 70.5A   | 7.0A   | 0.5%  |
|      | 후 | 47,011A | 57,173A | 8,950A | 22.9% |
| B    | 전 | 19,246A | 104.0A  | 4.8A   | 0.5%  |
|      | 후 | 27,702A | 21,825A | 9,806A | 36.8% |
| C    | 전 | 18,962A | 83.6A   | 6.6A   | 0.5%  |
|      | 후 | 51,871A | 66,744A | 4,492A | 10.2% |

표 1. 고장 전·후 전류 분석표

**2.2 A 발전소 오동작 발전기 동작 원인 분석**

**2.2.1 dc 성분에 의한 CT 포화 문제점 분석**

A 발전소 345kV No.2 BUS 지락 고장과 같이 발전단 스위치야드 지락 고장은 고장 전류 중 dc성분이 많이 포함될 수 밖에 없고 dc성분이 다량 포함된 고장 전류가 CT에 유입될 때 CT의 철심내 자속은 그림 2처럼 진행되어진다.

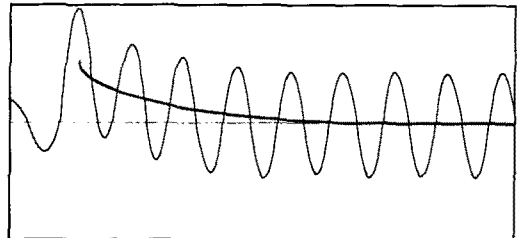


그림 2. 고장 전류

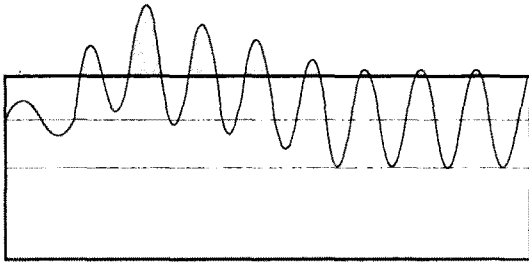


그림 3. 고장시 철심내 자속

철심내의 잔류자속은 해당 철심의 I-Φ 곡선인 히스테리시스 곡선과 고장 발생 시점, 계통의 R-X비 등 여러 요인에 의해 결정된다. 위의 그림 3에서 굵은 사각형은 철심의 포화 단면적을 의미하며, 이 단면적이상의 자속이 발생되는 현상을 철심의 포화라고 한다. 그림 3에서 음영 처리된 부분의 자속을 누설자속이라 하는데 철심의 과열, 뒤틀림, 진동 등 여러 현상으로 나타나며 포화 지속 시간 동안 CT 2차측 전류는 그림 4처럼 왜곡되어진다.

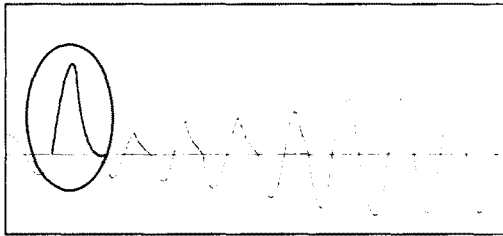


그림 4. 포화시 2차 전류

철심이 포화하면 누설전류를 제외한 전류가 CT 2차측으로 흐르며 누설전류가 클수록 2차 전류의 크기는 작아지고 왜곡되어진다. 위의 그림에서 고장 후 첫 번째 반파(그림 4의 원내)는 포화하지 않는 형태를 보이는데 dc off-set에 의한 CT의 포화현상에서 주목할 만한 점이 바로 첫 번째 반파이다. 이번 발전기 87GT 동작은 전형적인 고장 전류의 dc성분에 의한 포화로 추정되며 고장 발생 16ms 후 CT에서 포화 현상이 발생한 것으로, 이때부터 87GT가 동작을 시작한 것으로 추정된다.

### 2.2.2 Unit 보호계전기 기능 분석

A 발전소에 운전 중인 전류비율차동계전기(DTN 920-3, ABB)의 특성을 보면 2고조파 성분이 계전기에 유입될 경우 억제요소로 작용을 하지만, dc성분이 계전기에 유입되면 억제요소로 작용을 하지 않는 특성이 있다. 또한 변압기 보호용 비율차동계전기는 Static Type 계전기로서 CT포화 대책이 없는 것으로 판단된다.

### 2.2.3 Unit 보호배전반 회로 Sequence 분석

1) DC회로 구성 : 87GT가 동작하면 우선적으로 수행해야 할 책무는 신속하게 차단기가 Trip되도록 구성하여야 한다. 그 구성은 87GT 계전기는 86GT(Lock-out Relay)를 직접 구동시키고 그 접점을 이용하여 차단기를 트립 하도록 구성하는 것이 바람직하다. 현재 A 발전소 오동작 발전기의 Trip 회로 구성은 [87GT→ETX→86GT→86MT→차단기 트립]으로 되어 있어 고장 발생 요인이 많고 특히 여러 단계 보조계전기가 동작을 해야 하므로 트립 시간이 지연되는 단점이 있다.

2) AC회로 구성 : 87GT의 CT 입력 개소는 345kV측에서 2요소, 22kV측에서 2요소로 구성되어 있으나, 실제로는 전압별로 CT를 병렬로 묶어서 입력하고 있다. 이런 결선의 경우 통과 전류가 억제요소로 작용되지 못하고 고장시 하나의 입력요소에 2개의 CT로부터 너무 많

은 전류가 유입되므로 바람직하지 못하다. 모든 CT는 각자의 Input Device를 갖는 것이 바람직하다. 최근의 디지털 계전기는 각각의 Input Device로부터 받은 전류 정보를 가지고 여러 방법으로 억제요소를 결정하여 오동작 가능성을 적게 하는 연산방식을 취하고 있다.

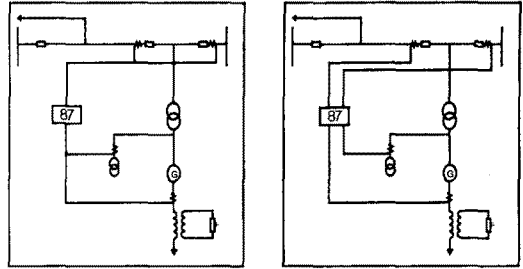


그림 5. CT 입력 분리(좌: 개선 전, 우: 개선 후)

### 2.3 종합 분석

#### 2.3.1 345kV No.2 Bus 지락 고장 분석

1) 3상 대칭 지락·단락 고장으로 고장상의 순서는 B상 → A상 → C상순으로 고장이 발생한 것으로 분석되며, 345kV No.2 Bus 보호반의 1st Main, 2nd Main의 정상 동작에 의해 고장전류 차단시간은 51ms로 정상적이거나 고장전류 차단 후 오동작 발전기가 정상 출력 상태로 복귀되어 90ms동안 정상 운전을 하던 중 발전 정지되는 비정상 동작이 발생된 것으로 분석된다.

2) 오동작한 발전기의 전류를 분석해 보면, 고장 전류는 345kV로 환산하여 순시 최대 약 8000A를 공급한 것으로 분석도니다. 또한, 고장 전류를 고조파 분석하면 고장 후 1Cycle 동안은 dc성분이 기본파보다 많이 포함되어 있음을 알 수 있다.

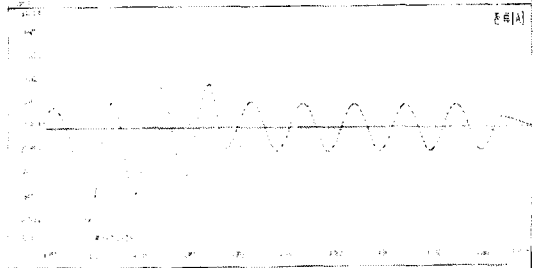


그림 6. 고장 발생시 저장된 2차 전류(AΦ)의 파형

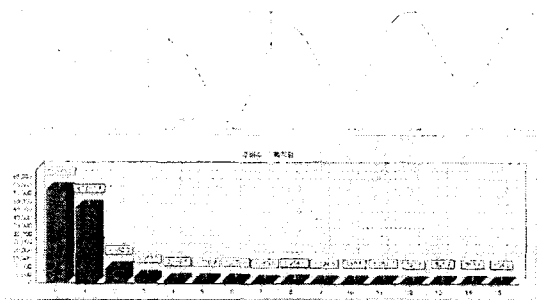


그림 7. 고장 발생시 저장된 2차 전류(AΦ)의 고조파 분석

### 2.3.2 Unit 보호계전기 87GT 동작 분석

#### 1) 계전기 동작

2004. 6. 19일 발생한 고장에서 발전기 Unit 보호계전기 87GT는 고장 발생 16ms 정도에서 스위치야드에 설치된 CT가 포화되면서 동작을 시작한 것으로 분석된다. 고장 발생 후 51ms만에 345kV No.2 Bus 보호계전기에 의해서 고장은 차단되었지만 모선보호계전기가 동작하

고, 차단기(7372,7472,7572,7672,7772,7872)의 차단시간 동안에 87GT가 동작하였고 여러 단계의 트립 단계를 거치면서 총 차단시간이 125ms정도 다소 지연된 것으로 분석된다.

### 2) 계전기 특성

대단위 발전단의 발전소 구내 모선 지락 같은 근단 고장의 경우 CT가 포화될 수 있는 전기적 환경 특성을 가지고 있으므로, 스위치야드에서 CT 입력을 받는 발전기 Unit 보호계전기는 CT 포화에 대응하여 오동작 가능성이 적은 계전기를 선택하여 적용하는 것이 바람직하다. 즉, 운용 중인 Unit 보호계전기는 CT 포화가 발생되면 언제든지 오동작할 수 있는 가능성을 배제할 수 없으므로 CT 포화에 대응할 수 있는 연산 기능을 가진 Digital Type의 계전기를 선택하는 것이 바람직하다고 판단된다. 또한 Digital Type의 계전기는 Disturbance Recorder 기능을 가지고 있어 고장시 동작 원인을 분석하는 데 가장 정확한 정보를 제공할 수 있으므로 오동작 방지, 정확한 분석 등 여러 가지 면에서 유리하다고 판단된다.

### 3) 보호회로 구성

주보호 계전기는 고장전류를 차단함에 있어 가능한 최단 시간(3Cycles)내에 차단하는 것이 바람직하다. 이번 고장 분석이 시사하는 바는 345kV No.2 Bus 보호반은 고장이 시작되고 3Cycles(51ms)내에 고장을 차단하였지만, Unit 보호계전기 87GT는 자기 구간내 고장이 발생한다 해도 최소 100ms를 넘을 것으로 예상된다. 이렇게 고장 차단시간이 길어진다면 결국 발전기의 수명에 좋지 않은 영향을 미칠 것이므로 현재 4단계(87GT→ETX→86GT→86MT→차단기 트립)로 구성되어 있는 차단기 트립회로를 가능하면 2단계(87GT→86GT→차단기 트립)로 구성하는 것이 설비의 정격 수명 및 안정성을 확보 측면에서 유리할 것으로 판단된다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 발전소 근단에서 고장이 발생하였을 때 보호계전기에 유입되는 고장 전류의 성분을 분석함으로써 오동작의 원인을 살펴보았다. 근단 고장시의 고장 전류에 포함된 dc성분에 의한 CT 포화 문제점이라는 점을 파악하여 이에 대한 대책을 제시하였다. 또한, Unit 보호계전기의 분석을 통하여 계전기의 특성과 동작 Sequence의 특성을 파악하고 이의 미비점에 대한 대책을 제시함으로써 설비의 신뢰성을 확보할 수 있는 기술적 해결점을 제공하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 이종원외 2, TM.C97ES01.R2004.438, 2004
- [2] Power System relay Committee, IEEE, "Transient Response of Current Transformers", IEEE, Publication 76CH11304-4 PWR
- [3] Bradley, D.A., Gray, C.B. and O'Kelly, D., "Transient Compensation of Current Transformers", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-97, No.4, July/August 1978.
- [4] Horowitz, S.H. and Phadke, A.G., Power System Relaying, John Wiley and Sons, Inc., 1992
- [5] Elmore, W.A., Kramer, Cheryl A. and Zocholl, Stnaley E., "Effect of Waveform Distortion on Protective Relays", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.29, No.2, March/April 1993