

**전력용 변압기 중성점 리액터 단선 감시용 보호계전기 오동작 사례 분석**

강연욱,곽주식, 김건영  
한전 전력연구원, 한국전력공사

**The Analysis of Mal-Operation of Protection Relay  
for Detecting Disconnection of Neutral Grounding Reactor**

Y. W. Kang, J. S. Kwak, G. Y. Kim\*  
KEPRI, KEPSCO\*

**Abstract** - 전력수요의 증대에 따른 계통규모의 확장에 따라 관련기기는 초고압 및 대용량화 추세에 있다. 이러한 관련기기들 중에서도 특히 154/22.9kV 전력용 변압기는 고장시 수용가의 정전범위가 방대하고 변압기 내부 고장의 복구비용 또한 막대하므로 경제적 손실은 물론 사회적 영향도 크다. 우리나라에서는 1980년 초기부터 154/22.9kV 전력용 변압기의 고장이 급증하였으며, 이러한 원인은 주로 직접접지 방식을 채택하고 있는 한전 계통에서 배전선의 지락고장에 의한 지락고장 전류가 변압기 중성점을 통하여 변압기에 충격을 가함으로써 변압기 권선 단락 절연파괴 및 ULTC 고장 등이 발생하는 것으로 밝혀졌다. 따라서 한전에서는 변압기 중성점으로 흐르는 지락고장전류의 저감을 위해 변압기 중성점 접지 리액터(NGR: Neutral Grounding Reactor)를 설치하여 운전하고 있으며, 그 결과 변압기 고장이 크게 감소하였다. 그러나 모선 절체시 변압기 1, 2차측 차단기 Trip 고장이 발생하였으며, 고장 발생 원인은 NGR 보호계전기 59GT 계전기의 오동작에 의한 86T Lock Out 계전기 동작으로 변압기 1, 2차측 차단기 Trip 고장이 발생한 것으로 추정된다. 따라서 본 논문에서는 무부하 모선 차단시 59GT 계전기에 나타나는 이상 전압을 EMTTP (electro-magnetic transient program)를 이용하여 분석하였다.

**1. 서 론**

우리나라에서 1980년 초기부터 154/22.9kV 전력용 변압기 2차측에 지락고장 발생시 지락고장 전류에 의한 154/22.9kV 전력용 변압기의 고장을 저감시키기 위하여, 직접접지 방식을 채택하고 있는 한전 계통을 변압기 중성점으로 흐르는 지락고장전류의 저감을 위해 변압기 중성점 접지 리액터(NGR: Neutral Grounding Reactor)를 설치하여 운전하고 있으며, 그 결과 변압기 고장이 크게 감소하였다.

그러나 리액터가 개방된 상태에서 전력용 변압기 2차측에 지락고장이 발생하면 건전상에는 일시적으로  $\sqrt{3}$  배의 1선 지락 과전압이 인가되어 수용가 설비의 손상을 초래할 우려가 있다.

실제적으로 리액터 고장은 거의 없는 것으로 보고 되고 있으며, 따라서 리액터 개방을 감시하기 위한 별도의 장치를 운영하는 나라는 거의 없지만, 한전에서는 리액터 단선 상태에서 변압기 2차측에 지락고장이 발생할 경우, 수용가 및 전력설비의 과전압에 의한 고장을 방지할 목적으로 지락고장전류를 신속히 제거하기 위한 59GT 계전기(변압기 트립용 과전압 계전기, 영상 과전압 계전기)를 운영하고 있으나 무부하 모선 차단시 계전기 오동

작에 의한 변압기 트립 고장이 보고되고 있다. 따라서 본 논문에서는 계전기 동작원리 검토 및 무부하 모선 차단시 59GT 계전기의 오동작 원인을 분석하였다.

**2. 본 론**

**2.1 59GT 계전기 동작특성**

한전에서는 1선 지락 고장에 따른 변압기 고장의 감소를 위해 저 리액턴스 접지 방식을 채택 했으며, 이 방식을 채택한 1993년 이후 변압기 고장이 크게 감소하였다.

NGR이 단선되면, 계통은 비접지 계통이 된다. 따라서 NGR이 단선된 상태에서 1선 지락 고장이 발생하게 되면 건전상의 전위는 상전압의 1.73배가 된다. 한전에서는 NGR 단선시 변압기 2차측 선로의 1선 지락고장에 따른 수용가 및 전력설비의 과전압 발생을 방지하기 위해 그림 1과 같이 59GT 계전기를 이용하여 변압기 1, 2차 차단기를 트립시키고 있다.

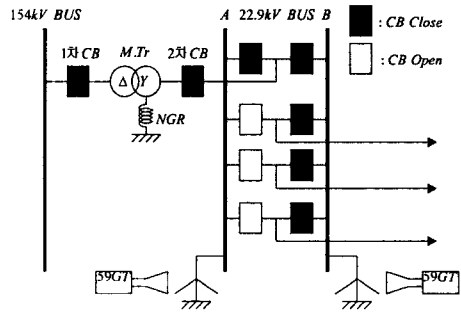


그림 1. 59GT 계전기에 의한 NGR 단선 감시

59GT 계전기는 변압기 2차측 23kV 모선 전압을 감시할 수 있는 PT(Y/open Delta, 13.2kV/63.6V)에 연결되어 모선의 불평형 전압을 감시하는 구조로 모선 불평형 전압이 제한 범위를 넘으면 NGR이 단선된 상태에서 변압기 2차측 선로에 1선지락 고장이 발생한 것으로 판단하여 동작한다. 59GT 계전기의 입력전압  $E_{PT}$ 는 식 (1)와 같다.

$$E_{PT} = E_A + E_B + E_C \quad \text{-----(1)}$$

여기서  $E_{PT}$  : 59GT 계전기의 입력 전압

$$E_A : 22.9kV \text{ Bus의 A상 전압} \times \frac{63.6V}{13.2kV}$$

$$E_B : 22.9\text{kV Bus의 B상 전압} \times \frac{63.6\text{V}}{13.2\text{kV}}$$

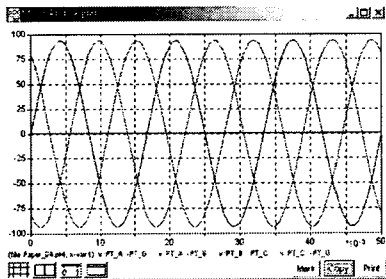
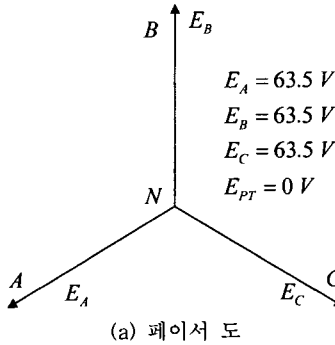
$$E_C : 22.9\text{kV Bus의 C상 전압} \times \frac{63.6\text{V}}{13.2\text{kV}}$$

만일 계통이 평형이고 정상상태일 경우, 59GT 계전기에 검출되는 전압은 그림 2처럼 0이 된다.

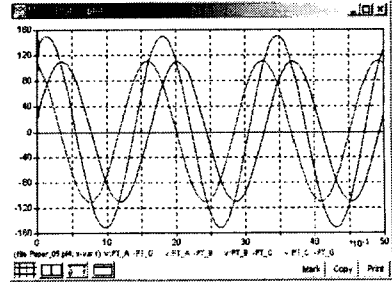
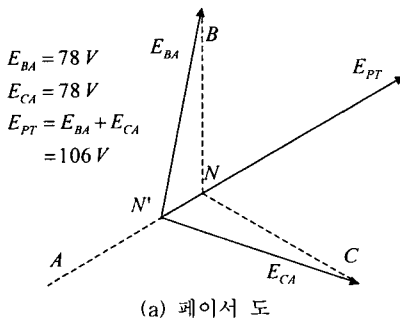
1선 지락고장이 발생하면 리액터의 영향으로 중성점 N이 N'로 이동하게 되고 건전상 전위는 상전압에 비해 약간 증가하게 되어 계전기에는 그림 3과 같이 110V 이하의 전압이 검출된다.

리액터가 단선된 상태에서 1선 지락고장(A상)이 발생하면, 그림 4와 같이 중성점 N은 N'(A점)로 이동하게 되고 건전상인 B, C상의 전압은 1.73배 증가하게 되어 59GT 계전기에 나타나는 전압은 약 190V가 된다.

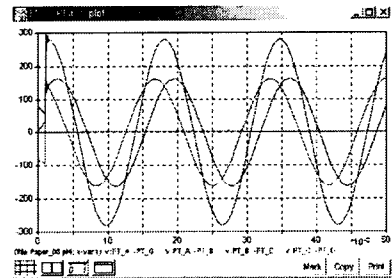
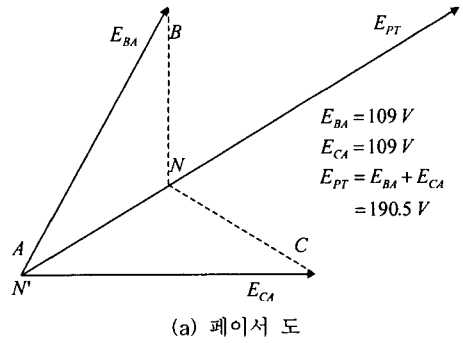
NGR 접지계통에서 1선지락 고장이 발생하면, NGR이 정상적으로 연결되었을 경우 59GT 계전기에 나타나는 전압은 약 106V이며, NGR이 단선된 경우에는 190V가 됨을 알 수 있다.



(b) EMTP에 의한 모의 결과  
그림 2. 정상상태시  $E_{PT}$  전압



(b) EMTP에 의한 모의 결과  
그림 3. 1선 지락고장시  $E_{PT}$  전압



(b) EMTP에 의한 모의 결과  
그림 4. NGR 단선상태에서 1선 지락고장시  $E_{PT}$  전압

NGR 단선시 59GT 계전기에 나타나는 전압 190V는 지락고장 저항이 0일 때를 가정했을 경우의 전압이고, 지락고장 저항이 커짐에 따라 59GT 계전기에 나타나는 전압은 감소하게 된다. 한편에서는 지락고장 저항이 최대 50Ω일 때, 59GT 계전기의 전압은 120V 이상이 되는 것으로 분석되었으며, 따라서 59GT 계전기의 순시 동작 전압을 120V로 설정하여 운전하고 있다.

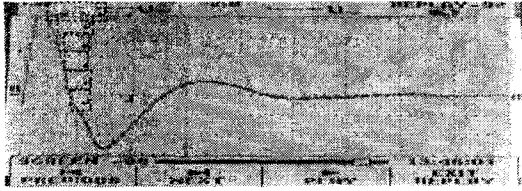
## 2.2 59GT 계전기 오동작 분석

한전에서는 154/23kV 변압기 2차측의 부하 분담 및 병렬운전 등 공급 신뢰도를 고려하여 2중화 모션으로 운전하고 있다.

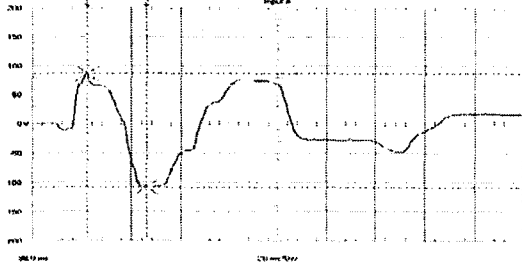
변압기 2차측 차단기 점검을 위해 무부하 모션을 개방하고 부하는 그림 1과 같이 하나의 모션에서 전력을 공급하게 된다. 차단기 점검을 위해 23kV 무부하 모션측을 개방할 때, 59GT 계전기의 오동작에 의해 변압기 1, 2차 차단기가 Trip되는 고장이 발생하였다.

고장 발생 후, 원인분석을 위해 무부하 모션을 개방하고, 59GT 계전기의 검출전압을 6회 측정하였으나 6회 모두 59GT 계전기 동작전압인 120V 이하의 전압이 측

정되었다.



(a) M변전소



(b) Y변전소

그림 5. 무부하 모선 차단시 계전기에 발생하는 전압

현행 59GT 계전기는 E/M type(가동철심 Hinge형)으로서 순시요소 동작 전압값이 시험방법에 따라 차이가 있으며, 분석에 의하면 순시요소 동작 전압값은 Tap이 120V일 경우 90V의 전압에서도 동작할 수 있다.

또한 59GT 계전기 오동작 고장 발생시에는 모선용 차단기의 극간 개리차가 기준치 이상의 시간으로 120V 이상의 전압이 59GT 계전기에 발생했다고 추정되지만, 원인 분석을 위한 측정시에는 차단기의 개리차가 정상으로 회복되어 120V 이하의 전압이 나타난 것으로 판단된다.

현재 차단기는 표 3과 같이 정격전압 72.5kV 이하는 6.0ms(0.36 cycle) 이내로 3극 부동시 개극시간을 규정하고 있다.

표 3. 3극 부동시 개폐시간(ES 150 표 21)

구 분	시 간
3극 부동시 개극시간	1/6 cycle 이하
3극 부동시 투입시간	1/4 cycle 이하
동상 접점간 부동시 개극시간	1/8 cycle 이하

그러나 실제 현장에서는 그 이상의 개극시간이 관찰되며, 또한 수년간 차단기 동작없이 운전되고 있는 상태에서 최초 차단시에는 훨씬 긴 3극 부동시 개극시간이 나타난다고 판단된다.

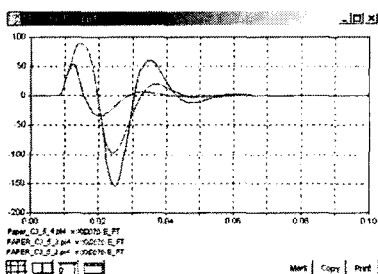


그림 6. 개리차에 의한 59GT 계전기의 입력 전압

따라서 본 논문에서는 모선의 각 상별 대지 정전용량을 3.5 $\mu$ F로 가정하고, 3극 부동시 개극시간이 각각 2.8ms, 10ms, 20ms일 때 59GT 계전기에 나타나는 전압을 EMTP를 이용하여 분석하였다. 분석결과를 그림 6과 같다.

그림 6에서 알 수 있는 것과 같이 모선용 차단기의 3극 부동시 개극시간이 기준치인 2.8ms일 때 59GT 계전기에는 약 53V의 전압이 발생하지만, 모선용 차단기가 1년 이상 장시간동안 차단기 접점이 접촉되어 있는 상태를 가정하여, 최초 개방시 개극시간을 10ms나 20ms로 증가시키면 59GT 계전기 전압도 97V, 155V로 증가하게 되어, 계전기 Trip 전압인 120V 이상의 전압이 나타날 수 있음을 알 수 있다.

### 2.3 59GT 계전기 회로보완

이상 살펴본 것과 같이 차단기의 무부하 모선 차단시 모선용 차단기의 3극 부동시 개극시간에 따라 과전압 계전기의 순시 동작시 오동작이 발생할 우려가 있고 실제 몇 번의 사고를 경험하였다.

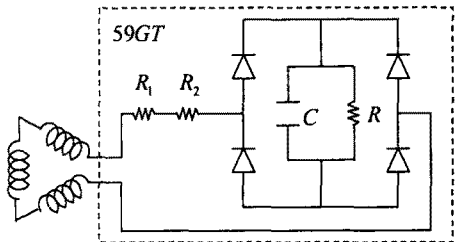


그림 7. 59GT 계전기 시지연 보완

따라서 한전에서는 과전압 계전기 오동작을 최소화하기 위한 대책으로 그림 7과 같이 59GT 계전기에 시지연 회로를 보완하여 운전하고 있다.

### 3. 결 론

이상 살펴본 것과 같이 모선용 차단기의 3극 부동시 개극시간에 따라 59GT 계전기의 오동작 가능성은 존재하지만, 고장 발생후 원인분석을 위한 측정시에는 개극시간의 회복으로 실측데이터의 측정은 불가능하다고 판단된다.

그러나 한전에서는 계전기에 시지연 동작회로를 보완하여 운전하고 있어 안정적인 전력공급이 가능하다고 판단된다. 향후 시지연 보완회로의 특성분석을 수행할 예정이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] "A Study for the Reduction of the power transformer failures", KEPRI Final Report, 1992
- [2] Peter E. Sutherland, "Application of Transformer Ground Differential Protection Relay", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 36, pp.16-21, 2000
- [3] Garry E. Paulson, "Monitoring Neutral-Grounding Resistors", IEEE, 1999
- [4] John P. Nelson and Pankaj K. Sen, "High Resistance Grounding of Low Voltage Systems: A standard for the Petroleum and Chemical Industry", IEEE, 1996