# 765kV 송전계통 보호계전기의 오차분석을 통한 정정지침에 관한 연구

論 文
52A-1-7

# A Study on the Protective Relay Setting Rules for 765kV Power System by Analysis of Errors

崔 勉 松* · 李 承 宰* · 姜 相 熙* · 趙 誠 振** · 裵 玲 浚** · 趙 範 燮*** · 柳 永 碩***
(M,S Choi · S,J Lee · S,H Kang · S,J Cho · Y,J Bae · B,S Cho · Y,S Yoo)

***Abstract*** - In this paper, the protective relay setting rules of Korean electric power system are studied by analysis of errors to be considered. An accurate operation of protective relays with accurate settings are important in power system reliability. The setting rules are used from the first establishment in 1982 and revision in 1990 Therefore, it needs revise and analysis of the setting rules because of environmental changes such as voltage raise or applied new technology of power system. Two major setting rules are studied. One is the rule for Zones of distance relay for transmission lines. The other is the one of differential current in a differential relay for power transformers. The range of errors in the setting rules accepted in the field experience is studied in simulation of case study. Also some guide lines for the range of errors in the setting rules are presented from the case study using Matlab simulation.

**Key Words** : protective relay setting rules, power systems. error analysis

## 1. 서 론

현재 우리나라 전력계통에 적용하는 보호계전기 정정지침은 1982년도에 최초로 제정된 이후 1990년도에 개정되어 적용하고 있으나 개정당시의 계통조건과 보호설비가 많이 변화되어 그 유효성을 재 검토할 필요가 제기되고 있다[1].

우리 나라의 전력 수요는 지속적으로 증가되어 왔으며, 이에 대처하기 위하여 송전계통에 765kV 설비를 시설을 확충하고 있다. 765kV 계통은 송전용량이 대용량이기 때문에 고장이 발생하면 계통에 미치는 충격이 매우 크다. 따라서 종래의 345kV 계통에 적용된 보호계전시스템에 비하여 보호 계전기의 동작은 더 고속화되고 고장검출감도는 더 높아야 하며, 또한 보호장치의 보다 높은 동작 신뢰도가 요구된다. 보호계전기 기술의 발달에 따라 아날로그 보호계전기에서 디지털 보호계전기로 계전기가 변경되어 더욱 정확하고 정밀하고 동작을 함에도 정정기준은 보호계전기를 사용하는 전력회사 자체적으로 필요시 개정·적용하고 있다. 하지만 아직 명확한 정정지침의 근거나 이론 및 연구가 뒷받침되지 못하고 있다. 이에 따라 보호계전 정정기준에 관련하여 종합적이고 합리적인 기준 및 근거를 수립, 제시해야 할 필요성이 대두되고 있다.

본 논문에서는 현재 송전계통 정정지침 중 가장 기본적인 것으로 송전계통 변압기 보호용 전류차동계전기의 동작전류를 결정하는 것과 거리계전방식에서 단계별 영역을 결정하는 것에 대하여 고장여부를 판단하는 보호계전기의 정정상 생길 수 있는 오차분석을 시행하여 현 정정지침의 타당성을 알아보았다. 그리고 이를 통하여 합리적인 보호계전기 정정지침의 가이드라인을 추천하였다. 계전기 정정 시 계전기 동작을 결정하는 최소동작값은 계전기에서 발생할 수 있는 각종 오차를 고려하여 결정된다. 만약 오차를 크게 보아 이 최소동작값을 높게 적용했을 경우 계전기의 오동작 가능성이 적어지지만 그만큼 고장에 대하여 계전기 동작이 민감하지 못하여 부동작의 가능성이 존재하게 되고 반대로 오차를 작게 보아 동작 임계값을 낮게 적용할 경우 계전기의 동작은 매우 민감하게 되어 부동작의 가능성이 적어지게 되나 오차에 의한 오동작의 염려가 있어 적절한 오차범위의 선택은 계전기 정정에 매우 중요하다. 본 논문에서는 현재 현장에서 가장 기본적으로 적용하는 전통적인 오차의 범위에 대한 타당성 여부를 시뮬레이션을 통하여 알아보았다.

현재 765kV용 피 보호설비 양단의 전류차로 고장을 감지하는 변압기의 비율차동 계전기(87M)의 정정지침에서 고려하는 오차는 CT 오차 5%, 계전기 오차 5%, Impedance 계산 오차 10% 그리고 OLTC(On Load Tap Changer) 동작범위가 7% 이며, 이들 값에 대한 Margin(여유)으로 120%~200%를 고려한 값을 비율차동계전기의 최소동작전류로 하여 기준전류 값의 30%로 정하고 있다. 하지만 정정지

* 正 會 員 : 明知大學 電氣工學科 敎授 · 工博
** 正 會 員 : 明知大學 電氣工學科 碩士課程
*** 正 會 員 : 韓國電力去來所 係統技術處 係統保護팀
接受日字 : 2002年 9月 12日
最終完了 : 2002年 11月 12日

침에서 이 오차요인들로부터 최소동작전류을 구하는 방법은 이제까지의 이론적인 근거가 빈약한 값이므로 본 논문에서는 87M의 기본적 동작원리에서 각 오차요소 값에 대해 보호계전기가 고장여부를 판단하는 결과 값에 어떤 영향을 미치는가를 Matlab을 이용하여 확률적인 시뮬레이션을 통한 방법으로 알아 보았다. 그리고 이를 통하여 정정지침의 가이드라인을 제시하였다.

765kV 송전선 후비보호에 사용되는 거리계전기를 이용하는 거리계전방식은 고장 시의 전압 전류에 따라서 고장점까지의 임피던스를 측정하고 그 값이 보호계전기에 미리 정한 최소동작값 이하로 되었을 때 차단동작을 한다. 이 방식은 보호범위의 판별 시 계통조건 변화의 영향이 적고 동작의 신뢰성이 높기 때문에 신속한 보호가 가능하다[2]. 이러한 송전선로 보호용으로 사용되는 거리계전기의 단계별 영역 정정은 오차 요인을 감안하여 다음과 같이 정정하고 있다. 먼저 단락 거리계전기의 Zone1은 자기구간 선로 임피던스의 85%, Zone2는 125%, Zone3는 225%를 보호범위로 하고 있으며, 지락거리계전기의 Zone1은 75%, Zone2는 150%, Zone3는 225%를 보호범위로 하고 있다. 본 논문에서는 CT 오차 5%, 계전기 오차 5%, Impedance 계산 오차 10%를 고려하였을 때 거리계전기가 사용하는 임피던스 계산 알고리즘에서 각 오차요인이 어떤 영향을 주는지를 Matlab 시뮬레이션을 통하여 알아보았으며 이 결과를 통하여 각 단계별 적절한 보호범위를 제시하였다.

## 2. 변압기 보호용 비율차동 계전기

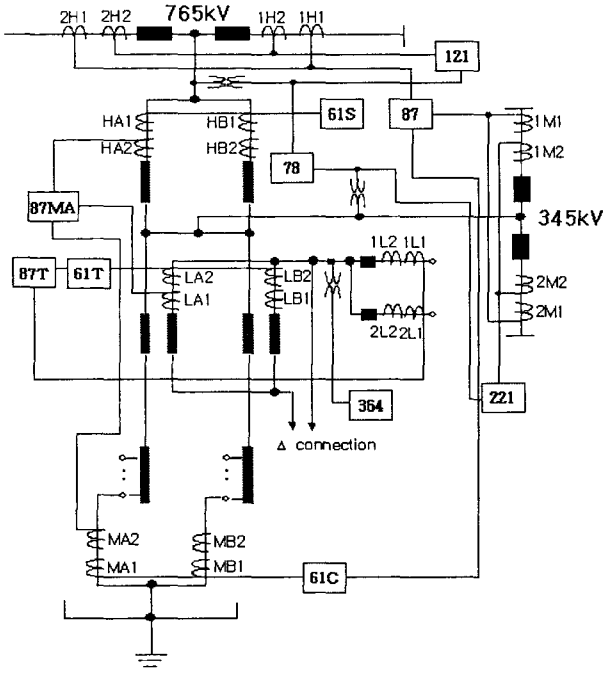



그림 1 변압기 보호 계전기 결선도

Fig. 1 Protective Relay connections for Transformer

765kV 변압기는 2000[MVA]의 대용량이고 %임피던스가 낮아서 고장 검출감도가 저하되기 때문에 보호 계전기의 검출 감도가 높아야 한다.

그림 1은 765kV 변압기 보호 계전기의 결선도이다. 765[kV] 변압기의 경우 345[kV]에 비하여 대용량이기 때문에 두 개의 변압기를 병렬로 연결하여 1Φ으로 사용한다. 즉 2대의 Tank가 1Φ이므로 6대의 Tank가 3Φ을 구성하여 하나의 Bank가 된다. 그림 1에서처럼 변압기 보호는 크게 주보호와 후비보호로 나뉘며 주보호는 다시 Tank와 Bank 보호로 구분된다. 주보호 중 Tank 보호용으로는 비율차동계전기(87M, 87T, 87)를 사용하며, Bank 보호용으로는 전류평형계전기(61)를 사용한다. Tank 보호용 87M계전기는 각 권선(1차, 2차, 3차)의 층간·단락 고장 검출을 목적으로 적용되며 87계전기는 765[kV]측과 345[kV]측 단자의 단락·지락검출 및 1차·2차권선의 지락검출용으로, 87T계전기는 3차권선 및 3차회로 단자의 단락고장을 검출한다. Bank 보호용 전류평형계전기(61)는 Bank 간 전류의 평형 상태를 감지 1차 권선(61S), 22차권선(61C), 3차권선(61T)의 각 권선간 층간단락 고장 검출에 적용된다.[3]

그림에서 전류차동계전기(87M)의 입력 전류는 다음과 같다.

87MA : HA2 (1차 권선 전류)
(A Tank) MA2 (2차 권선 전류)
LA1 (3차 권선 전류)

87MB : HB2 (1차 권선 전류)
(B Tank) MB2 (2차 권선 전류)
LB1 (3차 권선 전류)

### 2.1. 전류차동계전기(87M)의 동작 알고리즘

이 계전기 입력은 1차권선전류, 2차권선전류, 3차권선 전류를 사용하며 87MA는 A Tank (3대)를 87MB는 B Tank (3대)를 보호한다. 이 입력전류에 대한 차동 동작특성의 연산식은 다음과 같다.

87M 계전기 비율 및 차동특성(DF)요소는 2가지 기능으로 이루어진다.

i) 차동기능 : $I_d$ > 87MA(DF)

ii) 비율차동기능 : $I_d$ > 87MA(RAT1) × $I_r$

여기서, $I_d$ = | HA2+MA2+LA1 | (1)

$I_r$ = max[ HA2, MA2, LA1 ] (2)

이다. 그리고 RAT 는 tap changer를 고려 후 최대 외부고장 전류에서의 miss-match 전류비율 이상으로 하며 권장치는 30~40% 이다.

이 식에 의해 결정되는 계전기의 동작 특성은 그림 2와 같다.[4] 여기서 HOC 요소는 여자돌입시 고장에 대하여 변압기를 보호하기 위하여 최대 여자돌입전류의 200%이상의 전류가 흐르면 고장으로 판정하여 동작한다.

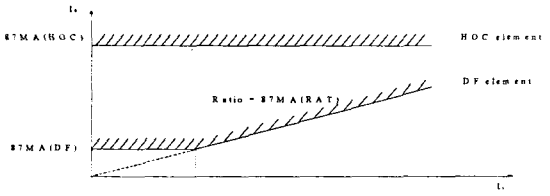



그림 2 87MA의 차동 및 비율차동특성곡선

**Fig. 2** 87MA Differential and Differential Characteristic Curves

### 2.2. 오차요인 분석

전류차동계전기의 정정은 계전기의 동작을 결정하기 위한 차동전류의 최소동작값을 결정하는 것이다. 최소동작값이 높으면 고장에 대한 감도가 떨어지고, 반대로 최소동작값이 낮으면 오동작할 가능성이 있어 신뢰도가 떨어진다. 그러므로 최소동작값은 정상시에 나타날 수 있는 모든 오차를 고려하여 오차 때문에 오동작하지 않도록 최소동작값을 정한다. 이때 적용되는 오차는 크게 CT, Relay, 임피던스, OLTC 오차로 나뉜다. CT 오차는 변류에 따른 유기

표 1 765kV 변압기 전류차동계전기 정정지침[5]

**Table 1** 765kV Transformer Differential Relay Setting Rules[5]

| 용도 | Tank 단위 내부 단·지락 보호 |
|---|---|
| 기구번호 | 87MA, 87MB |
| 정정지침 | 1. 최소동작전류<br>- 기준전류의 30%<br>2. 비율특성 : 40%<br>3. 2고조파 동작억제<br>- 여자돌입전류의 2고조파성분의 값이 50% 이상<br>4. HOC 요소<br>- 최대 여자돌입전류의 200% 이상 |
| 비고 | 1. 최소동작전류<br>가. 오차:30%(여유140%)<br>① CT오차:2 × 5%<br>② Relay오차:5%<br>③ OLTC:7%<br>나. 비율특성:40%<br>① CT오차:2 × 5%<br>② Relay오차:5%<br>③ OLTC:7%<br>④ 여유 200% 고려 |

전류 차이와 이때 선정되는 Tap 불일치 등에 의한 오차를 포함하여 계전기용 CT의 경우 최대오차는 정격의 5%이내를 요구한다. Relay 오차는 입력값에 대한 A/D 변환 및 계산 등에 발생하는 오차이며, 계전기 제작시 최대오차를 5%로 본다. 그리고 실제 변압기의 임피던스와 보호계전기에 입력된 임피던스의 차이와 OLTC(On Load Tap Changer)의 tap 변환에 따른 변압기 2차측 전류의 변동에 따른 오차를 7%로 본다.

표 1은 현재 우리나라에서 적용하고 있는 765kV의 변압기 전류차동방식 계전요소의 정정지침이다. 표 1에서와 같이 정정지침은 실제값과 계전기에 입력되는 전류값에 대한 오차를 산정하여 계전기의 최소동작값을 정한 것이다.

여기서 각 오차요인들로부터 최소동작값을 계산하는 데 사용된 방식은 다음 식과 같이 각 오차를 단순합산방식에

전류 차이와 이때 선정되는 Tap 불일치 등에 의한 오차를 포함하여 계전기용 CT의 경우 최대오차는 정격의 5%이내를 요구한다. Relay 오차는 입력값에 대한 A/D 변환 및 계산 등에 발생하는 오차이며, 계전기 제작시 최대오차를 5%로 본다. 그리고 실제 변압기의 임피던스와 보호계전기에 입력된 임피던스의 차이와 OLTC(On Load Tap Changer)의 tap 변환에 따른 변압기 2차측 전류의 변동에 따른 오차를 7%로 본다.

의해 계산한 값에 여유도를 고려하는 것이다.

$$\text{최소동작값}[\%] = [CT_{error} + Relay_{error} + OLTC_{error}] \times \text{여유도} \quad (3)$$

현재 적용되어지고 있는 다른 정정 지침도 이와 같이 고려해야 할 각 오차의 단순합산 방식에 경험적인 여유를 고려하여 최소동작값을 산정한 것이 대부분이다.

본 논문에서는 변압기 보호 계전 요소 중 전류차동계전기(87M)를 예를 들어 계전기에서 고려하여야 할 오차요소로부터 비율차동특성에 대한 최소동작값을 시뮬레이션을 통하여 구하고, 현재 적용되는 정정지침상의 비율특성값과 비교해 보았다. 본 논문에서 제시한 방법은 계전기 동작점을 결정하는 비율차동특성의 최소동작값을 구하는 식에 각 오차요인을 모두 고려하여 비율차동값의 범위를 구하는 것이다. 즉 정격전류에 대해 CT 및 OLTC 오차를 고려한 후 이 값에 대해 계전기의 입력변환 및 계산과정에서 오차를 적용하여 비율차동값을 구하며 거기에 포함된 총 오차를 구하는 방법으로 식을 유도하면, 다음과 같다.

$$I_{error} = \frac{I_{d(error)}}{I_{r(error)}} = \frac{|HA2_{error} - MA2_{error} - LA1_{error}|}{\max(HA2_{error}, MA2_{error}, LA1_{error})}[\%] \quad (4)$$

여기서, 이 식에서 오차를 포함한 각 변수값의 분포범위는 다음과 같다.

$$HA2_{error}: HA2 \times (1 \pm 5\%)_{CT} \times (1 \pm 7\%)_{OLTC}$$
$$MA2_{error}: MA2 \times (1 \pm 5\%)_{CT}$$
$$LA1_{error}: LA1 \times (1 \pm 5\%)_{CT} \times (1 \pm 7\%)_{OLTC}$$

$I_{error}$는 변압기 정격용량과 정격전압에 의해 계산되는 정격전류값과 이 정격전류가 계전기에 입력되기 전에 생기는 오차로서 CT 및 OLTC 오차를 고려한 값이다.

전체 오차 $Total_{error}$는 식 (4)의 $I_{error}$와 Relay의 경우 입력에 대한 A/D 변환 및 계산 등을 고려한 오차( $Relay_{error}$)를 포함한 것이며, 다음 식으로 표현 할 수 있다.

$$Total_{error}[\%]=[1-(1\pm I_{error})\times(1\pm Relay_{error})]\times 100 \quad (5)$$

여기서 $Total_{error}$는 전체 오차이며 정격전류에 대해 계전기의 동작에 영향을 미치는 모든 오차를 고려한 결과값이므로 계전기의 오동작을 방지하기 위하여 비율차동특성의 최소동작값은 이 값 이상으로 설정해야 한다.

### 2.3. 최소동작값 계산

계전기 비율차동특성의 최소동작값의 범위를 계산하기 위한 시뮬레이션에서는 Matlab을 이용하여 현재 사용되는 정정지침상의 방법 식(3)과 본 논문에서 제시한 방법 즉, 식(5)를 이용하여 실제값과 오차를 고려한 계산값과 오차가 분포하는 곡선을 얻었다. 여기서는 각 변수값을 오차요소를 고려하여 주어진 범위내의 임의의 값으로 랜덤함수를 이용하여 산정하고, 이 산정된 오차요인을 고려하여 최소동작값을 결정하는 것을 백만번 반복하여 그 범위의 누적분포값을 구한 것이다. 이로부터 확률적으로 나올 수 있는 계전기 비율차동특성의 최소동작값 범위를 계산할 수 있다.

여기서 765kV 변압기의 정격전류는 1차측 HA2=754.6[A], 2차측 MA2=918.9[A], 3차측 LA1=434.8[A]이다. 이 값을 입력받는 CT의 변류비는 모두 2000:1이므로 CT 2차측 값은 HA2=0.654[A], MA2=0.796[A], LA1=0.377[A]이다.

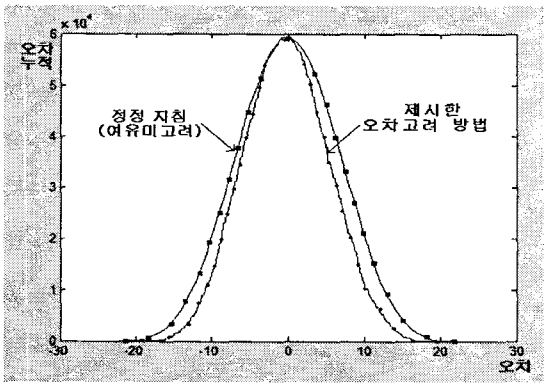



**그림 3** 오차분포곡선 (여유 미 고려)
**Fig. 3** Error Curves( No Margin consideration)

그림 3은 식 (3)에서 여유를 고려하지 않은 결과 곡선과 식 (5)의 결과 곡선을 비교하여 나타낸 것이다. 식 (3)의 오차 분포는 ±22%이며, 식 (5)의 오차 분포는 +18.8%, -18.5%로 나타났다. 결과로서 식 (3)에서 고려한 단순합산 오차고려방법의 결과와 식 (5)의 이론적인 결과가 약 3% 정도 차이가 나지만 거의 비슷하다는 것을 볼 수 있다. 그러나 현재 사용되는 정정지침은 그림 4와 같이 식 (3)에 여유도 140%를 고려한 것이므로 확률적으로 생길 수 있는 식 (5)의 오차분포 곡선과는 많은 차이가 있으며 그 만큼 감도가 떨어진다. 확률적으로 생길 수 있는 오차를 구하는 식 (5)의 시뮬레이션 결과는 대부분의 오차가 ±10% 이내에서 생기나 계전기 정정상 최악의 경우를 상정한다면 정정지침에서 고려하는 값은 최대오차로 +18.8% 과 -18.5%이다. 그러므로 최소동작값을 ±20%로 정한다면 오차에 의한 오동작 없이 동작영역을 정격전류의 약 10%정도 더 확장시켜 감도를 높일 수 있다.

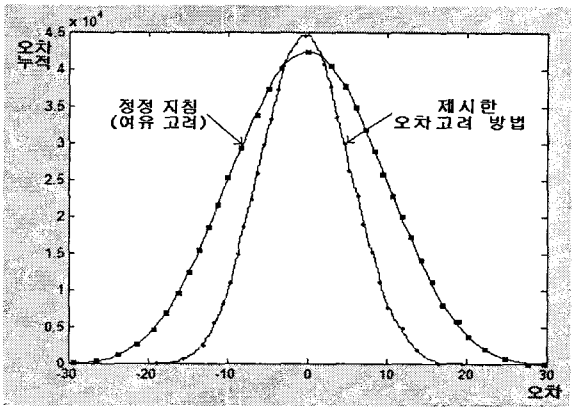



**그림 4** 오차분포곡선 (여유 고려)
**Fig. 4** Error Curves (Margin consideration)

## 3. 송전선로용 거리계전기

거리계전기는 항상 측정되는 전압 전류정보를 바탕으로 계전기와 고장점까지의 거리를 계산하고 만약 그 값이 계전기에 미리 정정된 최소동작값이하로 되었을 때 보호구간 내에 고장이 났다고 판단하며 차단명령을 내려 송전선로를 분리한다. 보호방식은 그림 5와 같이 거리계전기 3개 요소를 1조로 하여 가장 보호범위가 좁은 Zone1은 한시 계전기와 조합하여 $T_1$에 동작하고 Zone1의 후비보로로서 보호범위를 넓힌 Zone2와 Zone3는 한시 계전기와 조합하여 각각 $T_2$, $T_3$ 의 한시 동작을 하도록 되어 있다. 각 보호요소의 보호구간과 동작시간 특성은 그림 5와 같다. 그리고 현행 우리나라의 3단계 거리계전방식의 Zone1과 Zone2 정정지침을 표 2에 나타내었다.

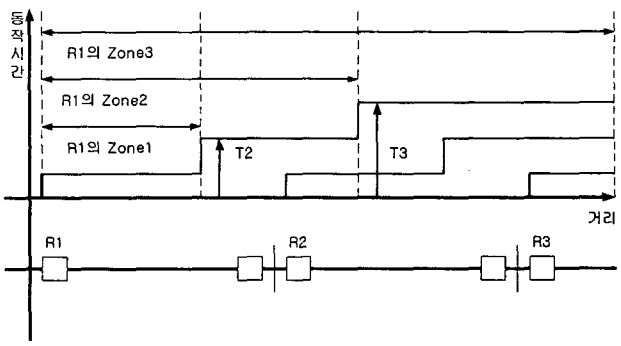



**그림 5** 3단계 한시 거리계전방식
**Fig. 5** Three-Step Delay Distance Relay Scheme

Zone1의 보호개념은 자기 구간내의 고장만을 보호할 목적으로 하며 다음 구간 고장 시에는 동작하지 않도록 하여 불필요한 정전정전이 없도록 하는 것이다. 그런데 보호구간 선정시 자기구간의 100%로 정정하지 않은 이유는 계전기 자체의 계산오차, CT, PT의 측정오차 및 선로 임피던스 오차 등을 고려한 것이며 타구간의 고장 시 측정 임피던스가

표 2 현행 우리나라의 3단계 거리계전방식의 Zone1과 Zone2 정정지침

**Table 2** Three-Steps Distance Relay Scheme Application in Korea

| 단계 | 한시적용 | 정정 지침 | 보호원칙 |
|---|---|---|---|
| Zone1 | $T_1$ | -단락:자기구간의 85%<br>-지락:자기구간의 75% | 자기구간만 보호하고 타구간 고장에는 부동작 |
| Zone2 | $T_2$ | -자기구간에서 125%<br>-자기구간100%+다음구간 최단선로의 50%<br>⇒상기 중 큰 것 선택 | 자기구간고장에 100% 동작 |

오차의 영향으로 실제 거리보다 작게되어 자기구간 고장으로 판단하지 않도록 하기 위한 것이다.

Zone2는 Zone1이 자기구간 내부 고장 시에도 전구간을 보호하지 못하기 때문에 자기구간의 고장은 100%를 보호하겠다는 목적과 Zone 1에 대한 후비보호로 사용한다. 자기구간 고장 시에도 오차의 영향으로 계전기가 다음구간고장으로 판단할 가능성이 있어 계전기가 확실히 동작할 수 있도록 보호구간을 자기구간의 100% 보다 커야한다. 통상 자기구간의 125~150%로 정하며 다음 구간의 Zone1과 시간협조를 이룬다.

### 3.1. 거리계전기 동작 알고리즘

거리계전기는 그림 6과 같이 1선지락 고장이 A상에 발생한 경우 계전기 설치점에서 정상 임피던스는 다음과 같은 방법으로 측정한다.

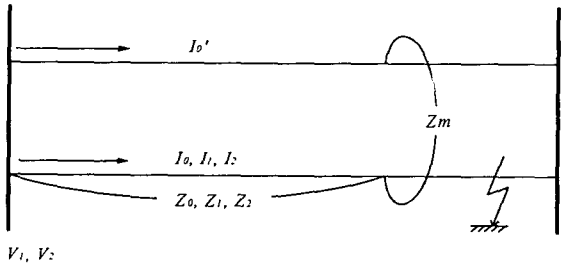



**그림 6** 평형 2회선에서 A상 1선 지락고장

**Fig. 6** Single-phase Grounding Fault in Parallel Transmission line

여기서 $Z_m$ 는 병행회선의 상호임피던스이며 $Z_0.Z_1.Z_2$ 는 고장회선의 계전기 설치점으로부터 고장점까지의 영상,정상,역상의 시퀀스 성분 선로 임피던스이다. 그리고 $V_0.V_1.V_2$와 $I_0.I_1.I_2$는 계전기 설치점의 시퀀스 성분의 전압과 전류이다.

고장상 전압 $V_A$ 는

$$V_A = V_0 + V_1 + V_2 \tag{6}$$

로 주어지며 여기서

$$V_0 = I_0 \times Z_0,\ V_1 = I_1 \times Z_1,\ V_2 = I_2 \times Z_2 \tag{7}$$

이며, 2회선 병행선로의 경우에는 타회선에 의한 상호임피던스를 고려하여야 하므로

$$V_A = Z_1 \times (I_0 + I_1 + I_2) + \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} \times I_0 + \frac{Z_m}{Z_1} I_0'$$

$$= dZ_1 \times I_A + (\frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} \times I_0 + \frac{Z_m}{Z_1} \times I_0') \tag{8}$$

와 같이 표현된다.

따라서 계전기가 측정하는 정상 임피던스 $Z_1$은 다음 식과 같으며 이 값이 Zone1 최소동작값보다 작으면 거리계전기가 동작한다.

$$\therefore Z_1 = \frac{V_A}{I_A + (\frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} \times I_0 + \frac{Z_M}{Z_1} \times I_0')} \tag{9}$$

### 3.2. 거리계전기 오차요인 분석

본 논문에서는 우리나라 전력회사의 기기 구매사양에서 요구하는 CT, PT의 오차 각각 5%와 계전기 계산오차 5% 및 선로 임피던스 오차 3% 고려하여 거리계전기에서 사용하는 알고리즘에 적용하여 전체 오차를 알아보았다.

거리계전방식에서 가공송전선로 1회선의 고장 계산 방법은 병행회선이 없으므로 식 (9)에서 병행회선의 영향을 제거한 식(10)과 같다.

$$Z_L = \frac{V_A}{I_A + I_0 \times (\frac{Z_0 - Z_1}{Z_1})} \tag{10}$$

*식(10)에* CT, PT, 임피던스 오차를 고려하면 다음 식과 같다

$$Z_R = \frac{V_{Ameasure}}{I_{Ameasure} + I_{0measure} \times (\frac{Z_{0measure} - Z_{1measure}}{Z_{1measure}})} \tag{11}$$

여기에 계전기 계산오차를 다시 고려하면 다음과 같다.

$$Z_{RL} = Z_R \times (1 \pm 5\%) \tag{12}$$

위 식(10)과 (11)를 비교함으로써 실제 고장점의 임피던스 값과 오차를 고려한 계산 값과의 차이는 $Z_{error}$은 다음 식과 같다.

$$Z_{error} = \frac{Z_{RL} - Z_L}{Z_L} \times 100[\%] \tag{13}$$

### 3.3. 시뮬레이션에 의한 거리계전기 최소동작값 계산

위에서 살펴본 오차 알고리즘을 고려하여 765kV 송전선

거리계전기의 정정시 최소동작값은 고장점 임피던스 계산시 오차로 인한 오동작을 막도록 설정되어야 한다. 765kV 송전선로의 경우 대부분 2회선이며 비연가이다. 본 논문에서는 765kV 송전선로 고장점 임피던스 계산시 전체 오차는 계전기에서 측정과 계산으로 인한 오차와 비연가와 2회선 영향으로 인한 오차의 두 가지 오차가 합성되어 계산한 고장거리가 실제 고장거리와 차이가 있다고 보았다. 먼저 계전기에서 측정과 계산으로 인한 오차를 구하기 위한 사례연구로서 1회선 송전선로를 대상으로 시뮬레이션을 수행하여 이 오차의 분포와 범위를 구하였다. 그리고 이 결과에 765kV 송전선로의 비연가와 2회선의 영향으로 인한 오차를 합성하여 전체 오차를 구하였다. 거리계전기 정정지침에 전체 오차를 고려하여 가이드라인을 제시하였다.

### 3.3.1 1회선 송전선로 거리계전기의 측정과 계산오차

거리계전기 각 Zone 요소의 최소동작값을 구하기 위한 식 (13)을 사용하여 거리계산시 각 오차요인에 의한 최종 오차의 분포와 범위를 시뮬레이션을 통하여 구하였다. 먼저 사례연구 대상계통으로 그림 7과 같은 154kV 1회선 80km 송전선로를 택하여 시뮬레이션을 하였다.

고장모의는 그림에서 30km지점에서 A상지락 고장을 EMTP로 모의한 후 이 데이터와 오차를 고려하여 계산상의 고장점 거리를 계산하였다. 1회선이기 때문에 송전선 지락고장 시 상호 임피던스에 의한 영향은 없다. 각 오차요인의 오차는 Matlab의 랜덤함수에 의하여 생성하였다. 이 오차요인에 의한 전체 오차는 계산상 고장점거리와 실제 고장점 거리와의 오차이며 백만번 반복하여 구하였으며 그 누적분포곡선을 그림 8에 나타내었다.

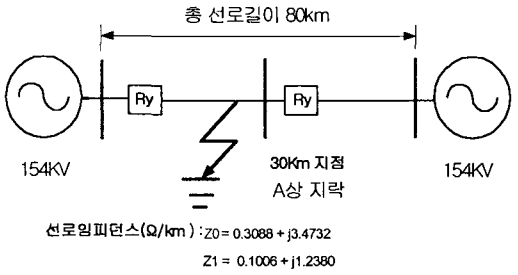



그림 7 154kV 1회선 송전선로 모의

Fig. 7 154kV Single-Phase Transmission line Simulation

결과 그림 8은 고장점까지 거리 계산시 생길 수 있는 오차의 확률적 분포와 범위를 보여준다. 오차분포의 범위는 -16%~17%이며 대부분(99%)은 ▨안의 범위(-13%~12%)에 분포된다. 최악의 경우를 상정하면 거리계전기 가 계산한 결과는 실제 고장점 임피던스보다 최대 16% 오버리치하거나, 또는 최e대 17%까지 언더리치한다. 그러므로 실제 고장점과 계산한 고장점과의 관계는 그림(9)와 같다. 여기서 a=17% 이며 b=16%이다.

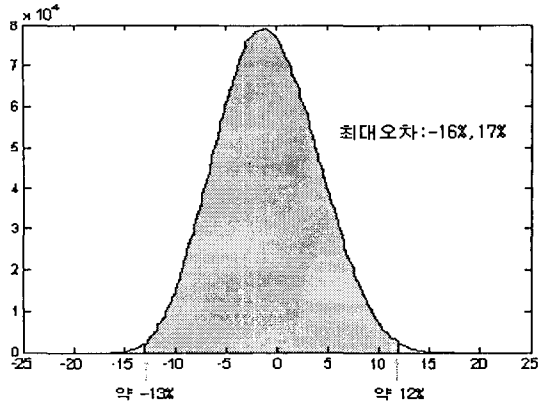
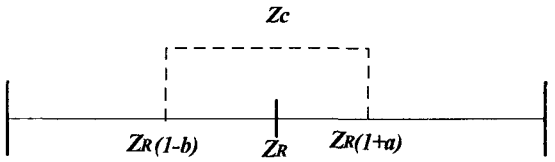



그림 8 고장점 거리 계산시 오차분포곡선

Fig. 8 Distance Error Curves of Calculation to Fault Point

이때 실제 고장점의 임피던스 값 $Z_R$과 오차를 포함한 계산 임피던스 값 $Z_C$와의 관계식은 다음과 같다.

$$Z_R(1-b) \le Z_C \le Z_R(1+a) \tag{14}$$




* $Z_R$ : 실제 임피던스 값(Real impedance Value)

* $Z_C$ : 오차를 고려한 계산 임피던스 값 (Impedance Value Error consideration at Calculation )

그림 9 실제고장점 계산시 오차고려 범위

Fig. 9 Error consideration Range at Real fault Point calculation

여기서 자기구간 임피던스를 $Z_L$라하고 고장점 임피던스 $Z_R$과 $Z_C$를 pu법으로 나타내면 $Z_{Rpu}=\frac{Z_R}{Z_L}$과 $Z_{Cpu}=\frac{Z_C}{Z_L}$ 이며 이를 (14)식에 넣어 정리하면 다음과 같다.

$$Z_{Rpu}(1-b) \le Z_{Cpu} \le Z_{Rpu}(1+a) \tag{15}$$

여기서 Zone1은 자기구간만 보호하며 타구간 고장 시 오동작하는 일이 없도록 하는 것이 목적이다. 그러므로 Zone1 정정 시 타구간 시작점 즉 자기구간 임피던스를 100% 지점에서 고장이 났을 때 Zone1 거리계전기가 이 고장을 내부고장으로 판단하여 동작하는 것을 막기 위하여 오버리치를 고려해야 한다. 이 고장점은 $Z_{Rpu}=1$이므로 Zone1의 최소동작값은 $Z_{Cpu}$의 최소값 이하라야 한다. 이 최소값은 식(15)의 좌변항이므로 이를 정리하면 다음과 같다.

$$(1-b) \le Z_{Cpu} \tag{16}$$

즉 1회선 지락고장의 경우 오버리치가 16%이므로 이를 적용한다면 타구간 고장의 경우 임피던스 계산값은 $(1-0.16)\leq Z_{Cpu}$ 으로 84% 이상이므로 Zone1의 정정 범위는 84% 이하이다. 단락고장의 경우 영상전류가 없으므로 식 (11)의 분모의 두 번째 항 이하가 모두 영이므로 단락고장의 Zone1은 이것보다 더 큰 최소동작값을 가져도 된다. 그리고 Zone2는 자기구간 내 고장을 100% 보호하는 것이 목적이다. 그러므로 Zone2의 최소동작값은 자기구간 말단지점의 고장 즉 자단 임피던스를 100% 지점의 고장 시 언더리치를 고려하여 고장점 임피던스계산에서 나온 값의 최대값 이상이라야 한다. $Z_{Rpu}=1$일 때 식(15)의 우변항이 최대값이므로 이를 정리하면 다음과 같다.

$$Z_{Cpu}\leq(1+a) \tag{17}$$

여기서 $a$=17%이므로 Zone2의 정정은 자기구간 임피던스의 117%이상으로 정정해야 Zone1이 보호하지 못하는 잔여 구간을 모두 포함한 자기구간은 100% 충분히 보호할 수가 있다.

### 3.3.2. 2회선 송전선로 거리계전기

765 kV 비연가 2회선 송전선로의 경우는 선로정수의 불평형과 상호 임피던스의 영향으로 영상전류보상만으로 계전기가 정확한 임피던스를 측정하는 것이 더욱더 어려워진다. 거리계산시 765 kV 비연가 2회선의 영향으로 인한 오차를 분석한 결과는 표(3)과 같다.

표 3 765kV 비연가 송전선로의 거리계산시 최대오차
Table 3 maximum Error of 765kV No-Twist Transmission line at calulation

| Case | 고장조건 | Underreah | Overreach | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1회선, 지락고장 | 8% | 11% | 거리표정 보상계수 미 Setting |
| 2 | 2회선, 지락고장 | 22% | — | |
| 3 | 1회선, 단락고장 | 10% | 7% | |
| 4 | 2회선, 단락고장 | — | 9.5% | |

※ 신서산-신안성S/S간 765kV 송전선로 : 약138km

표 (3)에 나타나 있는 것처럼 765kV 비연가 2회선 송전선로 지락 고장 시 거리계전기의 고장점까지의거리계산에 있어 상호 임피던스에 의하여 발생하는 오차는 최대 언더리치가 22%이며 2회선 단락고장 시 최대 오버리치는 9.5%이다.

### 3.3.3. 새로운 정정지침의 추천

계전기의 측정과 계산에 의한 오차 그리고 비연가 2회선의 영향에 의한 오차 모두를 고려한 우리나라의 765kV 송전선로 정정지침은 다음과 같이 추천된다. 먼저 지락고장 시 비연가 2회선에 의한 오버리치가 없기 때문에 Zone1 정정지침은 계전기의 측정과 계산에 의한 오차만 고려하면 된다. 즉 765kV 송전선로 지락고장 거리계전기의 Zone1의 정정은 자기구간 임피던스의 84% 이하로 정정하면 타구간의 고장으로 인한 오동작을 방지할 수 있어 적정하다.

그리고 지락고장의 Zone2 경우 비연가 2회선으로 인한 언더리치가 22%이므로 이것과 계전기의 측정과 계산에 의한 오차로 인한 언더리치 17%를 합성하여 전체오차는 다음과 같다.

$$Z_{Merror}=(1.17\times1.22)-1=0.4274 \tag{18}$$

즉 Zone2 정정값은 자기구간 임피던스의 143% 이상이면 자기구간 선로 내의 고장은 100% 보호할 수 있어 적정하다.

단락고장 시 비연가 2회선에 의한 오버리치가 9.5%이이며 이것과 계전기의 측정과 계산에 의한 오차로 인한 언더리치 16%를 합성하여 총오차는 다음과 같다

$$Z_{Merror}=(0.84\times0.905)=0.76 \tag{19}$$

즉 765KV 송전선로 단락고장 거리계전기의 Zone1의 정정은 자기구간 임피던스의 76% 이하로 정정하면 타구간의 고장으로 인한 오동작을 방지할 수 있어 적정하다. 그리고 단락고장의 Zone2의 경우 비연가 2회선으로 인한 언더리치가 없으므로 계전기의 측정과 계산에 의한 오차로 인한 언더리치 17%만을 고려하면 된다. 즉 단락고장 시 Zone2 정정값은 자기구간 임피던스의 117%이상이면 자기구간 선로 내의 고장은 100% 보호할 수 있어 적정하다.

## 4. 결 론

본 논문에서는 현행 765kV 변압기 보호용 비율차동계전기와 송전선로 보호용 거리계전기의 정정지침에 대하여 계전기의 측정오차와 계산오차 등을 고려한 오차분석을 통하여 새로운 정정지침을 추천하였다.

계전기의 정정지침에서 각종 오차요인들을 고려하여 계전기의 최소동작값의 범위를 구하는 방법이 이전에는 오차들의 단순합산방식에 여유를 고려한 방법이었지만 본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 확률적으로 나타날 수 있는 오차의 분포와 범위를 구하고 이를 통하여 계전기의 정정시 최소동작값을 알아내었다.

본 연구의 결과로 좀 더 적절한 보호계전기 정정을 할 수 있게 되어 보호계전기 동작의 신뢰도와 감도를 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

**감사의 글**

본 연구는 과학기술부 및 한국과학재단의 ERC 프로그램과 한국전력거래소의 지원으로 이루어졌으며 이에 감사를 드립니다.

## 참 고 문 헌


[1] 한국전력공사 전력연구원,"A Study on the Protective Relaying Schemes for 765kV Power System",초고압 보호계전방식에 관한 연구 보고(최종), P29~32, 1994.1.22

[2] 한국전력공사 동해전력소,"Field Guide Book of Substation-Facilitles",변전설비현장가이드북,P108~109, P117~118, 1999.12

[3] 한국전력공사 기술연구원,"765kV 초고압 보호계전방식에 관한 연구", 최종보고서, 173-176, 1994.12

[4] 유호전력공업주식회사, "INSTRUCTION MANUAL", 4-1~108

[5] 한국전력거래소, "765kV 보호장치 정정지침(안)", 지침서, 12-22, 2001

[6] 전력계통보호연구회, "비연가 송전선로에서의 거리계전기 Reach 측정 및 고장점표정에 대한 고찰", 전력계통보호제어연구회 2001학술 및 기술 발표회 논문집, P82~86, 2001.11


## 저 자 소 개

**최 면 송(崔 勉 松)**

1967년 4월생. 1989년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 전기공학과 졸업(공박). 1995년 Pensylvania State Univ. 방문 연구원. 1992년 기초전력공학공동연구소 전임연구원. 현재 명지대 학교 공대 전기정보제어공학부 부교수.
Tel:031-330-3367, Fax:031-330-6816,
E-mail : mschoi@mju.ac.kr

**이 승 재(李 承 宰)**

1955년 11월 30일생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 Univ. of Washington 전기공학과 졸업(공박). 1994년 Univ. of Washington 교환교수. 현재 명지대 공대 전기정보제어공학부 교수.
Tel:031-330-6362, Fax : 031-330-6816
E-mail : sjlee@mju.ac.kr

**강 상 희(姜 相 熙)**

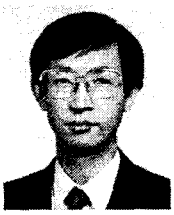
1962년 8월 15일생. 1985년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 명지대 공대 전기공학과 부교수.
Tel:031-330-6364, Fax: 031-321-0271
E-mail: shkang@wh.myongji.ac.kr

**조 성 진(趙 誠 振)**

1977년 1월 23일 생. 2002년 명지대 전기전자공부 졸업. 2002년 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.
Tel : 031-335-2068
Fax : 031-330-6816
E-mail : radmon6143@lycos.co.kr

**배 영 준(裵 玲 浚)**

1977년 10월 18일 생. 1999년 명지대 전기전자공부 졸업. 2002년 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.
Tel:031-335-2068, Fax : 031-330-6816
E-mail : captin_1@lycos.co.kr



**조 범 섭(趙 範 燮)**

1954년8월생. 1974년 조선대학교 이공대학졸업. 1996년 발송배전기술사. 1974년 한국전력공사입사. 2001년~ 한국전거래소 계통보호팀장
Tel 02-3456-6750, Fax 02-3456-6757
E-mail cbsf@kpx.or.kr

**유 영 식(柳 永 植)**

1963년 2월생. 1989년 광운대전기공학과 졸업. 1991년 한국전력공사 입사. 1992 ~2001년 발송변배전 분야보호계전기 시험 및 정정업무 담당. 2001년 한국전 력거래소 전직 및·발송변전 분야 보호계 전기관련 업무 담당. 계통기술처 계통 보호팀 과장.
Tel:02-3456-6753, Fax : 02-3456-6757,
E-mail : lyu21@kpx.or.kr