

[기술해설]

수변전설비의 보호협조 검토

유 상 봉

공학박사/건축전기설비, 발송배전, 전기응용
전기안전, 소방설비 기술사

1. 개 요

전력계통에 발생한 사고는 계통의 안정운전과 사고 설비의 손상을 경감하기 위하여 신속하게 제거할 필요가 있다. 이와 같은 역할을 담당하도록 계획되고 시설되어 있는 시스템을 보호계전시스템이라 한다.

또 전력계통의 사고는 계통 내 어디에서 발생하더라도 반드시 검출되어 차단되어야 하므로 각 설비마다 보호계전장치를 시설함과 동시에 보호범위에서 빠지는 부분이 없도록 하기 위하여 보호대상 범위를 부분적으로 중복되도록 한다.

즉, 피보호물에 사고가 발생하였을 때 피보호물의 주보호장치가 동작하여 고장이 제거되고, 피보호물의 후비보호장치(Back-up Protecting Equipment)는 동작하지 않도록 주보호장치와 후비보호장치간에 시간차이를 두어 보호장치간에 시간협조를 시키는 것을 보호협조라 한다.

2. 과전류계전기

과전류계전기는 회로에 고장이 발생하였을 때 정상상태보다 전류가 증가하는 것을 검출하여 고장구간을 제거하는 것으로서 보호방식으로는 간단하고 가격도 저렴할 뿐 아니라 고장제거가 확실히 되므로 가장 널리 쓰이고 있다.

그러나 최근에 와서는 전력계통이 대용량화하여 고장의 고속 선택차단의 필요성이 증가하고, 동시에 기기의 보호를 위한 전용 계전기가 많이 개발되어 과전류계전기는 후비보호에 주로 쓰이게 되었다.

따라서 여기서는 일반적으로 널리 쓰이는 반한시성 과전류계전기에 의한 단락보호를 중심으로 하여 정정하는 방법을 설명하기로 한다.

2.1 과전류계전기의 특성

과전류계전기를 동작시간 특성면에서 분류하면, 그림 2.1과 같은 정한시성을 가진 계전기와 반한시성 특성을 가진 계전기로 대별된다.

국내에서 가장 널리 사용되고 있는 과전류계전기의 한시특성은 IEC 255-4에서 정한 특성이다. 여기서 주의할

점은 국내에서 사용하는 과전류 계전기 즉, IDMT형 계전기에 있어서는 IEC 특성의 것이 가장 많이 사용되고 있으나 ANSI/IEEE 특성의 계전기가 숫자는 적지만 더러 사용되고 있다는 점이다. 이 두 종류의 계전기를 상호 교체하고자 할 때에는 한시특성이 서로 다르기 때문에 반드시 계전기 정정을 다시 하여야 한다. JEC규격 제품과의 교체시에도 마찬가지이다. IEC 한시특성은 다음 수식으로 표시되어 있다.

$$t_c = \frac{K}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times t >$$

여기서 t : 동작시간 t> : time multiplier
K : 계전기 특성상수 I : 입력값
I_s : 정정값 α : 특성곡선 지수

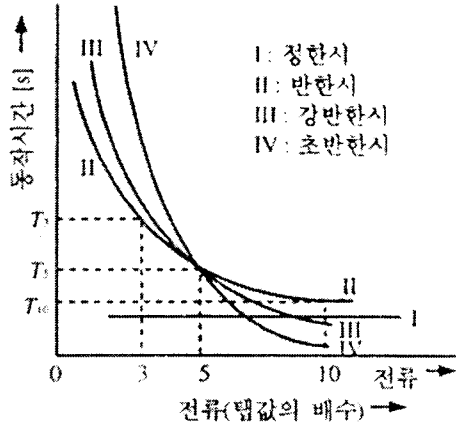
위의 수식에서 정하여지는 3종류의 Curve는

Type A α ≤ 0.5
Type B 0.5 ≤ α ≤ 1.5
Type C α > 0.5

로서 이 값 사이에서 제작자가 취사 선택하도록 되어 있으나, IEC가 특별히 권고한 α와 K의 값은 아래 표 2.1과 같으며 일반적으로 각 제작회사는 이 값을 표준으로 채택하고 있다.

<표 2.1> K와 α값

특 성	K	α	Curve type
반한시	0.14	0.02	A(그림 II)
강반한시	13.5	1.0	B(그림 III)
초강반한시	80	2.0	C(그림 IV)
장한시	120	1.0	



〈그림 2.1〉 과전류계전기의 동작시간 특성

이 장에서 적용하고 있는 과전류계전기 특성식과 계수는 IEC-255-3에 추천되어 있는 동작시간 계산식으로 계전기 동작시간 t_c 는 아래와 같다. 이 수식의 계수는 계전기 제작사에 따라 다소 다를 수 있으므로 계전기 설치시 동작특성식의 계수를 반드시 확인할 필요가 있다. 더욱이 한전이 적용하고 있는 과전류계전기에서는 강반한시성 특성계산이 IEC의 계산식과 다르므로 주의를 하여야 한다. IEC255-3의 추천식은 다음과 같다.

반한시성 Normal inverse
$$t_c = \frac{0.14 \cdot t >}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^{0.02} - 1}$$

강반한시성 Very inverse
$$t_c = \frac{13.5 \cdot t >}{\left(\frac{I}{I_s}\right) - 1}$$

초반한시성 Extremely inverse
$$t_c = \frac{80 \cdot t >}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1}$$

여기서 $t >$: time multiplier
 I : 계전기에 흐르는 전류
 I_s : 계전기 정정 전류

한국전력의 과전류계전기 강반한시성 동작시간 계산식은 아래와 같다.

강반한시성 Very inverse
$$t_c = \left\{ \frac{39.85}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^{1.95} - 1} + 1.084 \right\} \cdot t >$$

ANSI/IEEE의 과전류계전기 동작시간 계산식을 참고로 아래 적어 놓는다. IEC계산식과는 차이가 있음을 알 수 있다.

반한시성 Normal inverse

$$t_c = \left\{ \frac{8.9341}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^{2.0938} - 1} + 0.17966 \right\} \cdot t >$$

강반한시성 Very inverse

$$t_c = \left\{ \frac{3.922}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1} + 0.0982 \right\} \cdot t >$$

초반한시성 Extremely inverse

$$t_c = \left\{ \frac{5.64}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1} + 0.02434 \right\} \cdot t >$$

여기서 $t >$: time multiplier

I : 계전기에 흐르는 전류

I_s : 계전기 정정 전류

2.2 과전류계전기의 정정

2.2.1 동작전류값의 결정

동작전류값(탭의 정정값)의 결정에 있어서 고장 발생시 최소 고장전류에 동작되고 정상 운전시의 최대 부하전류에서는 불필요한 동작을 하지 않는 것을 기본요건으로 한다.

1) 최소 고장전류의 검토

최소 고장전류를 계산할 때는 다음 조건으로 계산한다.

- ① 고장점 : 다음 구간의 후비보호도 고려하여 고장점 위치는 원칙적으로 다음 구간의 말단으로 설정한다.
- ② 계통 조건 : 계전기 설치점의 단락용량의 변화를 감안하여(전원측 발전 용량의 심야조정 등) 단락용량이 최소가 되는 때의 계통 조건에서의 고장전류를 계산한다. 일반적으로 최대 단락용량의 70%로 하면 된다.
- ③ 고장의 종류 : 고장에는 3상 단락과 2상 단락이 있는데, 2상 단락시 고장전류가 적으므로(3상 단락시의 0.866배) 2상 단락에 대하여 검토한다. 최소 고장전류에 대하여도 계전기가 확실히 동작되기 위하여는 CT, 계전기 등의 오차 또는 고장전류 계산에 있어서 계통정수의 오차 등을 고려하여 정정에 여유를 둘 필요가 있다. 이 때문에 특히 유도원판형에서는 예상되는 고장전류가 탭값의 150%보다 적지 않아야 하며, 또 반한시 특성의 계전기에서는 다음 값이 확보되도록 한다.

즉, 최소 고장전류는 주된 보호구간에 대해서는 탭값의 300%이상, 후비 보호구간에 대해서는 150%이상 되도록 한다. 이상과 같이 최소 고장전류를 검토하고 부하전류 등에 의하여 불필요한 동작여부를 검토하여 조정한다.

2) 반한시성 계전기의 동작전류값 정정

1회선 수전 또는 1Bank 설비의 경우에 있어서는 최소 설비용량(차단기, 단로기, CT 등을 포함한 연속 통전전류용량 중 가장 작은 값)의 140%정도로 한다. 예컨대 각 설비 중 CT의 연속 통전전류가 가장 적어 CT의 1차전류가 200A라고 하면 $200 \times 1.4 = 280A$ 이상으로 정정값을 설정한다. 이는 10%정도의 과부하와 계전기 동작점의 종합오차(계전기 자체의 오차, CT의 오차 등을 총합한 오차)에 대한 여유 30%를 감안한 것이다. 또 전기로, 전기철도 등의 동요부하에 대하여는 최소 설비용량의 200%정도로 정정값을 취하는 경우도 있다.

2회선 수전 또는 2Bank 이상의 설비에 대하여는 과부하를 감안하여 최소 설비 용량의 180%정도로 한다.

3) 순시요소부 계전기의 동작전류값 정정

순시요소부 계전기의 순시요소가 다음 구간의 고장에 동작하면, 오동작은 필요없는 광범위한 정전을 초래하게 되므로 다음 구간의 고장에 대하여 절대 동작해서는 안된다.

이 때문에 선로 말단 또는 변압기 2차측 고장시의 최대 단락전류(배후 단락용량 최대시의 3상 단락전류값)의 130%정도로 정정한다. IEEE에서 175% 정정을 권장하고 있다.

4) 전압억제부 계전기의 정정

전압억제부 과전류계전기는 전류값이 일정해도 억제전압의 크기에 따라 동작값이 변한다. 따라서 일반적으로 억제전압 80% 상태에 있어서의 동작 전류값이 2)의 반한시성 계전기의 동작전류값 결정조건을 만족시키도록 전류값의 값을 결정한다.

2.2.2 동작시한의 결정

과전류계전기에 의한 보호는 인접 계전기간의 동작 시한차에 의하여 고장구간을 선택하도록 하는 것으로, 동작 시한차의 선정이 대단히 중요하다. 일반적으로 인접 계전기 동작시한은 다음과 같은 시한협조를 만족할 필요가 있다.

$$R_n = R_{n+1} + S$$

$$S = B_{n+1} + O_n + \alpha$$

여기서, R_n : 제 n구간의 계전기 동작시간

R_{n+1} : 제(n+1)구간의 계전기 동작시간

S : 제n구간과 제(n+1)구간의 계전기 동작시한 정정차

O_n : 제 n구간 계전기의 관성 동작시간

α : 여유시간

B_{n+1} : 제(n+1)구간의 차단기 차단시간

여기서 차단기의 차단시간은 하위 계통에서 5Hz정도 고려하면 되며, 계전기의 관성 동작시간은 정지형과 Digital 계전기에서는 고려하지 않아도 되지만, 유도원 관형에 있어서 일반적으로 사용되는 영역에서는 0.2초 감안하면 된다.

따라서 여유시간을 0.1초로 보고 위의 모든 값을 상기식에 대입하면 필요 동작 시한차는 Digital 계전기나 전정지형 계전기에 있어서는 0.2초 정도, 유도원관형 계전기에 있어서는 0.4초(0.3초 + 차단시간)가 된다.

3. 단락보호

과전류계전기는 중소형 변압기에서는 내부고장 보호에도 역할을 할 수 있으나 대형 변압기에서는 주로 후비보호(Back Up)로 사용된다. 과전류계전기가 너무 예민하면 변압기의 허용 과부하 운전이 불가능하게 되고 지나치게 늦게 정정되면 보호가 되지 않는다.

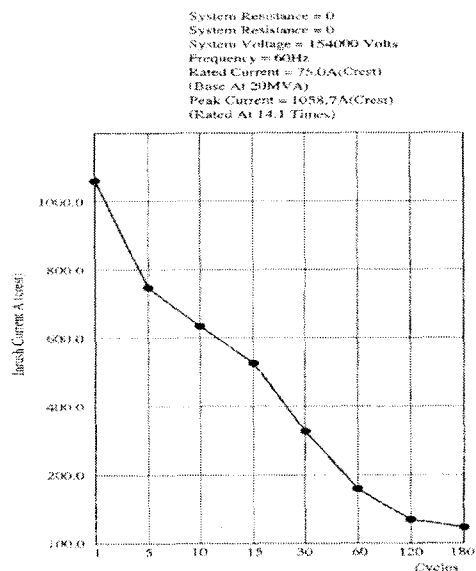
그러나 자가용 전기설비에서는 과부하 운전을 하는 경우는 그리 많지 않다. 변압기에 있어서는 150% 운전이 30분 정도 가능하므로 이 점을 감안하여 대체로 변압기 1차측은 정격전류의 150% 정도로 정정한다.

순시정정은 다음 조건에 따라 정정한다. 이에 변압기의 무부하 돌입전류를 I_N , 변압기 2차측 최대 단락전류(1차측으로 환산한 값)를 I_{S1} , 변압기 1차측 CT의 과전류정수를 n 이라 할 때 변압기 1차측 순시치 정정값 I 는 다음의 3가지 조건을 만족하여야 한다.

$$I > I_N$$

$$I \geq (1.3 \sim 2.0)I_{S1}$$

$$\frac{I}{I_R} \leq n$$



<그림 3.1> 돌입전류 Curve

단, I_R 은 변압기 1차측 CT의 1차 정격전류, 순시값은 ANSI/IEEE에 의하면 일반적으로 변압기 2차측 최대 단락전류의 1.25 내지 2.0배를 정정값으로 하되 1.75배를 권장값으로 하고 있다. 이는 변압기 2차측의 최대 고장전류에 대하여 변압기는 아무 손상을 받지않고 2초간을 견딘다는 전제 아래 정하여진 값이다. 위에서 1.3배로 한 것은 변압기 2차 단락 시 1,2차 CT 및 계전기 등의 종합 오차를 20%, 여유 10%를 감안한 값이다.

변압기의 돌입전류는 변압기 제작자로부터 직접 제시 받는 것이 계전기를 정정하는 사람으로서는 가장 편리한 방법이지만 하나 만일 제작자로부터 제시가 없는 경우에는 ANSI/IEEE에서 전부하전류의 8~12배, 지속시간을 0.1초(sec)로 취하도록 권장하고 있으므로 변압기의 결선에 관계없이 이 값을 기준으로 하여 정정하는 것이 무난하다. 이론적 계산에 의하면 투입 차단기측에서 본 변압기 권선이 Δ로 결선되어 있을 때가 Y로 결선되어 있을 때에 비하여 돌입전류의 최대치는 다소 크다고 되어 있으나 실제 계전기 정정에는 이를 고려하지 않아도 무방하다. 그림 3.1은 (주)효성이 납품한 154KV 20/25MVA 변압기 돌입전류-시간 곡선의 예이다.

변압기의 과부하 보호는 변압기 2차측의 각 피더에 설치되어 있는 과전류 계전기와 주모선 차단기에 설치되어 있는 과전류계전기가 담당하고 변압기 1차측에 설치되어 있는 과전류계전기는 변압기 2차 사고전류(Through Fault Current)에 대한 후비보호와 변압기 2차권선 및 변압기 2차부싱과 주모선 차단기 사이의 고장에 대하여만 주보호를 담당한다.

근래에 시판되고 있는 Digital 계전기는 순시요소의 정정 시간을 임의로 조정할 수 있게 되어 있으므로 계전기 정정에는 여러 가지로 편리하다.

변압기 2차측 외부 단락사고시 변압기가 견딜 수 있는 시간(Withstand Duration)에 대하여는 IEEE Std C57.109-1993과 IEC Publication 75-5 Amendment 2-1994.02에 각각 규정되어 있다. 양 규정 모두가 규정된 조건에서의 최대고장전류에서 변압기는 열적으로 2초간 견딜수 있도록 되어 있다. 두 규정의 다른 점은 IEEE Std C57.109-1993에서는 이와 같은 특성을 Curve로 표시한 반면 IEC 75-5 Amendment 2-1994.02에서는 사고시 변압기 권선의 최고 평균온도 θ_1 을 다음과 같이 수식으로 표시한 점이다.

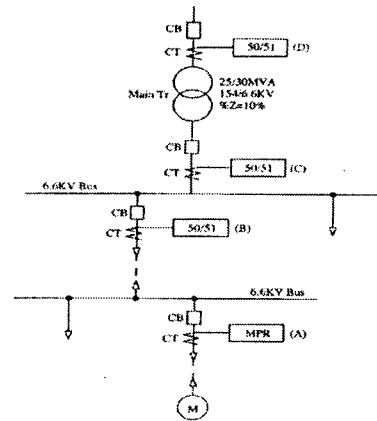
$$\theta_1 = \theta_0 + \frac{2(\theta_0 + 235)}{\frac{101000}{J^2 t}}$$

여기서 θ_0 : 초기온도(°C)
 J : 단락전류밀도(A/mm²)
 t : 사고시간(sec)

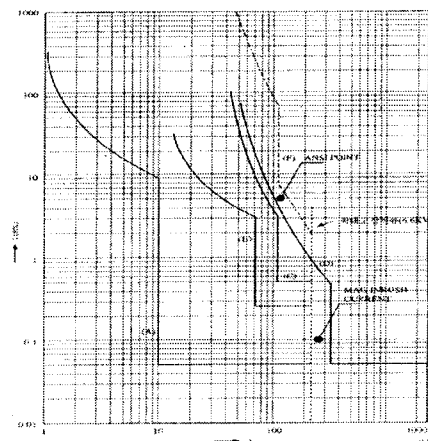
IEEE Std C57.109-1993(1985)에서 기존의 변압기 보호 기준점인 ANSI Point를 현행 Through Fault Protection Curve로 대체하고 현재에는 적용하고 있지 않으나 과거

의 규정에는 ANSI Point라 하여 변압기의 보호 기준점을 설정한 바가 있었다.

[사례] 그림 3.3은 그림 3.2에 표시한 단선결선도의 변압기 용량 25/30 MVA 154KV/6.6KV %Z=10%(25MVA 기준)를 6.6KV를 기준전압으로 계산하여 그린 보호협조 곡선의 예로 말단 부하의 순시를 0.05초, 주모선 분기피더 0.25초, 주 변압기 2차 주모선용 차단기를 0.5초가 되도록 정한시로 정정하고 주변압기 1차측 과전류계전기를 2차측 최대 사고전류에서 0.8초 전후에 동작하도록 한시정정한 경우이다. 한전 정정지침에 따르면 수전용 과전류계전기의 한시정정은 변압기 2차측 3상 단락전류에 대하여 0.6초 이하에서 동작하도록 명시하고 있다. 이런 경우에는 보호협조를 위하여 주변압기 1차측 과전류계전기 한시를 0.6초로 정정하고 대신 2차측 주차단기의 과전류계전기(C)의 순시요소는 폐쇄한다.



<그림 3.2> 단선결선도



<그림 3.3> 변압기 보호협조 곡선 예

전동기의 정격전류 100A, 주모선 피더의 분기피더의 부하전류를 1000A 내지 1500A 정도라 가정하였다. 전동기의 기동전류가 정격전류의 6배 내지 7배정도 임으로 70A의 20배인 1400A 이상인 전류는 사고전류라 볼 수 있다. 1차가 고압, 2차가 저압 인 변압기에 있어서 2차 주차단기가 ACB로 되어있는 경우가 종종 있는데 이때에는 ACB의 과부하 특성을 정확히 파악하여 상위 계전기와의 보호협조가 이루어지도록 하여야 한다. 보호협조 곡선에서 곡선(E)는 변압기의 Through Fault Protection Curve이다.

<참고문헌>

- ① 유상봉외 8, “보호계전시스템의 실무활용기술”, 도서출판 기다리, 2002
- ② 한국전력공사, “보호계전기의 실무 I·II”, 1990
- ③ 한국전력공사, “배전 보호협조”, 1997
- ④ 김정철, “현장실무를 위한 전기기술”, 도서출판 기다리, 2001
- ⑤ 김정철, “전기철도의 급전시스템과 보호”, 도서출판 기다리, 2004
- ⑥ IEC, IEC 255-3
- ⑦ 한국전력기술인협회, “전기설비 보호시스템 검토 및 정정기술”, 2004
- ⑧ 한국전력기술인협회, “수변전설비 및 보호계전시스템”, 2005

[보호협조시간 예]

- 1) 한시 계전기와 한시 계전기
 - 유도원판형 계전기와 유도원판형 계전기

차단기 개방시간	0.08초
계전기 Over-Travel 시간	0.1 초
안전율	0.22초
전 체	0.4 초

 - 정지형 계전기와 정지형 계전기

차단기 개방시간	0.08초
안전율	0.22초
전 체	0.3 초
- 2) 유도원판형 계전기와 순시형 계전기

차단기 개방시간	0.08초
계전기 Over-Travel 시간	0.1 초
안전율	0.12초
전 체	0.3 초
- 3) 고압 퓨즈와 유도원판형 계전기

차단기 개방시간	0.08초
안전율	0.12초
전 체	0.2 초
- 4) 유도원판형 계전기와 저압차단기(ACB/MCCB)

계전기 Over-Travel 시간	0.1 초
안전율	0.12초
전 체	0.22 초
- 5) 유도원판형 계전기와 퓨즈

계전기 Over-Travel 시간	0.1 초
안전율	0.12초
전 체	0.22 초
- 6) 퓨즈와 순시형 계전기

차단기 개방시간	0.08 초
안전율	0.12초
전 체	0.2 초