

계통의 고장전류 계산 ②

대다수의 엔지니어는 전기설비의 설계, 감리 및 유지관리업무에 종사하면서 계통의 고장전류 계산을 소홀히 다루어 왔던 것이 현실이다. 이에 따라 계통구성이 잘못되었거나 MOF 등의 기기강도 부족·차단기의 차단용량 부족에 따른 폭발사고, 보호계전기 설정 잘못에 따른 소손 및 정전 범위 확대 등의 많은 문제점을 노출시키고 있다.

고장전류 계산 방법은 ANSI/IEEE, IEC, VDE 등 각 국가 및 단체에 따라 다소 차이가 있고 임피던스 계산을 위한 제 정수 선정이 까다로워 고장전류를 정확히 계산하는 것은 어렵지만 이를 간단히 하여 현장 실무에 바로 적용할 수 있도록 하였다. 고장전류 계산 결과를 이용한 현장 활용은 다음 기획에 기술하고자 한다.



글/강창원 [No. 27179]
(주)서울유일엔지니어링 대표이사/기술사

차 례
1. 고장전류 계산 목적
2. 고장전류 종류
3. 고장전류 공급원
4. 임피던스
5. 비대칭 계수
6. 고장전류 계산(3상 단락전류)
7. 1선 지락전류
8. 고장전류 계산 예

5. 비대칭 계수(M.F : Multiplying Factor)

고장발생 초기의 임의의 시간대의 비대칭 고장 전류 값(r.m.s)은 고장전류 속에 포함되어 있는 DC분의 감쇄율과 회전기 리액턴스 변화율에 대한 정확한 값을 알아야 되기 때문에 매우 어렵고 복잡하다. 이러한 것은 정확하게 산출하는 것이 바람직하지만 실제로는 간단한 계수를 곱하여 구하는 것이 일반적이다. M.F는 DC분이 포함된 비대칭파의 전류 실효치를 대칭 AC분의 교류값으로 바꾸는 것이다. M.F는 표에서 구하기도 하고 그림 1과 같이 X/R비 및 차단기 접촉자 개리시간에 따른 값을 찾기도 한다.

6. 고장전류 계산(3상 단락전류)

6.1 고장전류 계산 STEP

- STEP 1 : 단선결선도 준비·검토
- STEP 2 : 임피던스 자료수집 및 변환
- STEP 3 : 임피던스 합성
- STEP 4 : 고장전류 계산

6.2 고장전류 계산 방법 및 절차

고장전류를 구하는 방법은 오음법, %임피던스법, p.u법이 사용된다. 현장에서는 일반적으로 % 임피던스법과 p.u법이 사용되며 $p.u = \%임피던스 / 100$ 의 관계가 있다.

%임피던스란 어떤 임피던스 Z가 있을 때 선간 전압을 V[kV], 3상 용량을 P[kVA]라 하면 전류 $I = (P/\sqrt{3}V)$ 가 Z에 흐를 때 전압강하 ZI[V]를 상 전압의 100분율로 표시한 것이다.

STEP 1 전력계통 파악

단선결선도를 준비하고 계통구성, 변압기 운전방법, 발전기·전동기 등의 계통운영방법, 결선 등 계통을 파악한다.

STEP 2 임피던스 조사, Data 변환(Base MVA로 변환) 및 임피던스 Map 작성

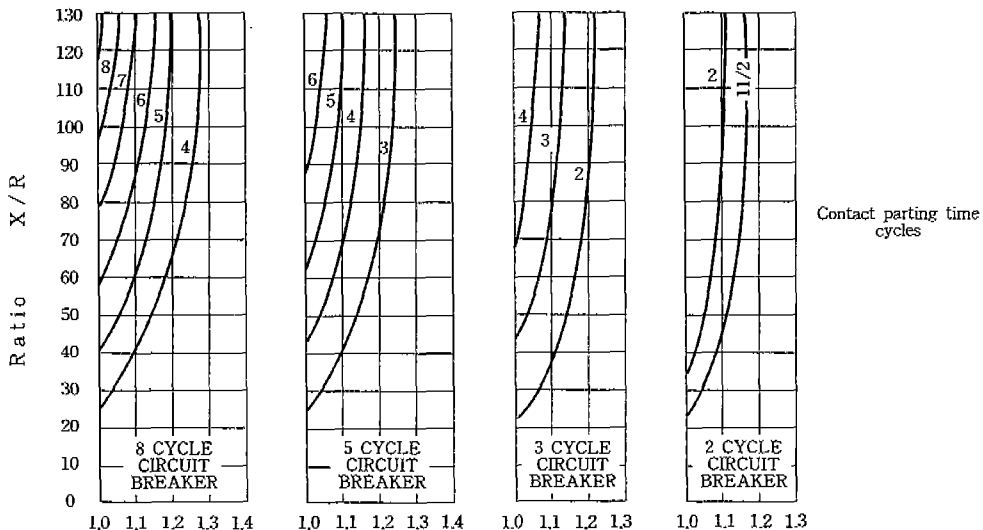
- 현장 기기의 명판, 시험성적서, 케이블 포설 방법 등으로부터 각종 기기 및 케이블의 임피던스를 조사한다.
- 조사된 임피던스를 %Z 또는 p.u 단위로 환

산하고 이들 Data를 기준용량(Base kVA)의 Data로 변환한다. 대용량 수용기는 p.u 단위를 소용량 수용기 및 저압측 고장전류 계산을 하고자 할 경우는 %Z 단위로 환산하는 것이 유리하다. 기준용량은 대용량 수용기는 100MVA 소용량 수용기는 수전변압기 용량으로 하는 것이 유리하다.

○ 임피던스 도 (Impedance Map) 작성 : 기기나 선로의 임피던스, 리액턴스, 저항치 등의 정수를 결정하고 임피던스 도를 작성한다. 이때, 발전기, 전동기 등 전원의 역할을 하는 것은 무한대 모선으로 간주하여 한전 전원과 병렬 접속하다.

STEP 3 임피던스 합성

- 사고점에서 본 전원측의 임피던스를 합성한다.
- 고장전류 공급원은 무한대 모선으로 생각한다.
- 임피던스의 합을 구할 때 저항분은 리액턴스를 0으로 하고 합성하며, 리액턴스분은 저항을 0으로 하고 합성한다.

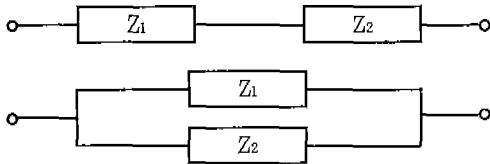


<그림 1> Multiplying Factors for Three Phase Faults Fed Predominantly from Generators

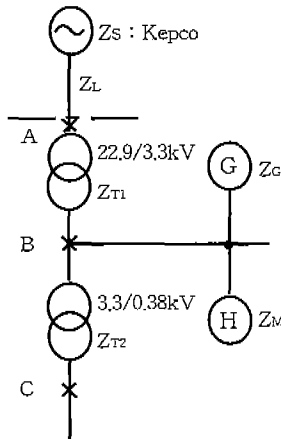
○ 합성은 임피던스의 직·병렬에 의한다.

직렬합성 $Z = Z_1 + Z_2$

병렬합성 $Z = \frac{Z_1 \times Z_2}{Z_1 + Z_2}$



예 7) 그림과 같은 계통에서 A.B.C 점의 고장 전류를 계산하기 위한 임피던스 Map 및 합성예를 나타낸다.



<그림 2> 단선결선도

STEP 4 각 점에서의 단락전류 산출

○ 기준전류 산출

$$I_n = \frac{\text{BASE MVA}}{\sqrt{3} \times E} \text{ [A]}$$

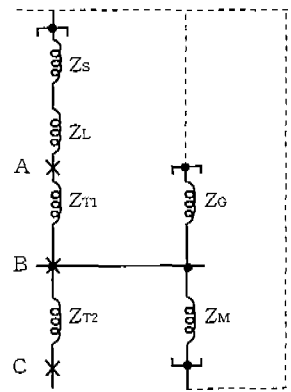
22.9kV계통의 100MVA 기준전류는 다음과 같다.

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \times E} = \frac{100,000}{\sqrt{3} \times 22.9} = 2,521 \text{ [A]}$$

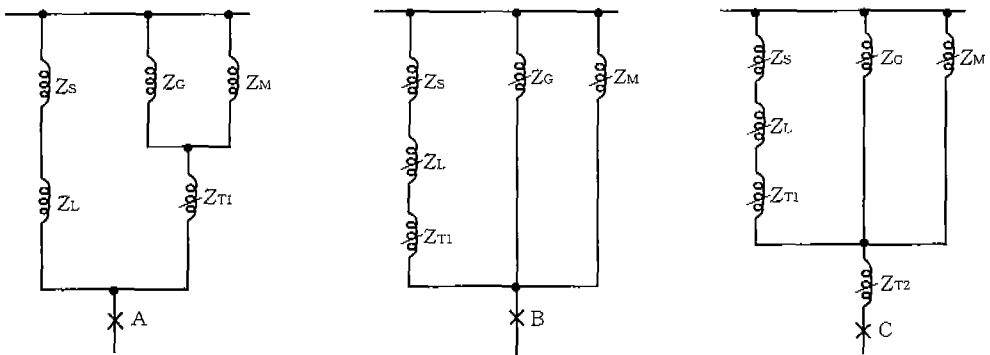
○ First cycle (Momentary) short circuit current

$$I_{sc \text{ sym}} = \frac{E_{pu}}{X_{pu}} \times I_{base}$$

where, $I_{sc \text{ sym}}$: Three - phase symmetrical Zero - fault - impedance (bolted) first - cycle short - circuit rms



<그림 3> 임피던스 맵



<그림 4> A, B, C 점 고장시 임피던스 합성

<표 1> 저압분전반 차단용량 선정

공급 방식	공급 전압	차단기 정격전류	정격차단전류
단 상	110V	30A 이하	1.5kA
		75A 이하	2.5kA
	220V	30A 이하	1.5kA
		50A 이하	5kA
3 상	200V	75A 이하	5kA
		30A 이하	1.5kA
		200A 이하	7.5kA
		225A 이하	10kA
		600A 이하	18kA
	380V (440V)	30A 이하	2.5kA*
		125A 이하	5kA
		150A 이하	5kA(7.5)
		225A 이하	7.5kA(10)
		600A 이하	14kA

주 1) 정격차단전류는 전선길이 20m를 기준으로한 수치임
 * 전선길이가 35m 이상인 경우는 1.5kA를 적용한다.

current(저압 CB, Fuse 등 정격선
 정에 적용)

$$I_{sc\ tot} = \frac{E_{pu}}{X_{pu}} \times 1.6 \times I_{base}$$

where, $I_{sc\ tot}$: Three-phase total (asymmetrical)
 Zero-fault-impedance (bolted)
 first-cycle short-circuit rms current
 (고압차단기 투입용량 선정에 적용)

○ Contact-Parting (Interrupting) Duty

$$I_{sc} = \frac{E_{pu}}{X_{pu}} \times MF \times I_{base}$$

(고압차단기 차단용량 선정에 적용)

○ Short-circuit (Steady State) currents for
 Time-Delayed Relaying Devices

$$I_{sc} = \frac{E_{pu}}{X_{pu}} \text{ (보호계전기 한시정정에 적용)}$$

○ 여유도

실제의 고장전류는 이론값으로 계산한

Data와 차이가 있다. 즉 계통에 고장이 발생
 하면 Impulse, Jumping 등의 현상으로 계산값
 보다 클 수가 있다. 또한, 임피던스의 허용오
 차, 변압기용량 증설, 회전기부하 증설 등으
 로 사용중 고장전류가 증가하게 된다. 따라
 서, 차단기 차단용량 선정시 계산된 고장전류
 값에 1.5~2배 정도는 여유를 두는 것이 바람
 직하다.

※ 저압분전반 차단기의 차단용량 선정

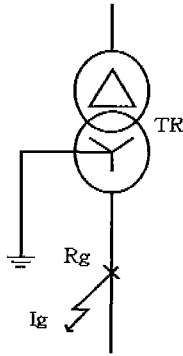
저압분전반 차단기의 차단용량 선정을 위하여
 일일이 계산하는 것은 어려운 일이며 별도 계산에
 의하지 않고 표 1에 의할 수 있다.

7. 1선 지락전류

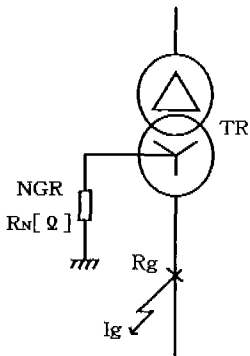
1선지락전류는 접지방범과 접지계통 운용에 의
 해 결정된다.

일반적으로 전력계통의 고장사고는 3상 단락에
 비해 1선 지락사고가 대부분을 차지 하고 있으며,

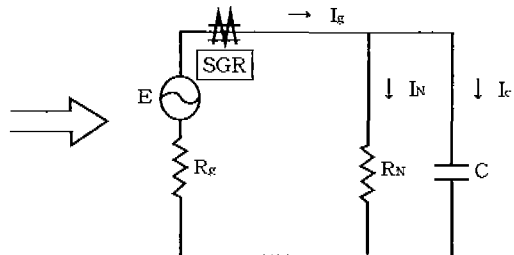
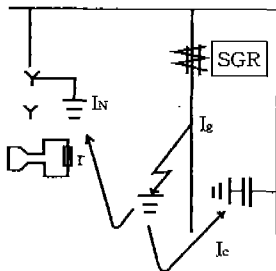
적절한 접지를 통해 대지전압의 이상상승을 억제하고 보호계전기에 의한 지락고장전압, 전류를 검출, 고장구간을 자동선택 차단하여 전력기기의 손상과 사고파급을 방지하고 있다.



<그림 5>



<그림 6>



<그림 7>

7.1 직접접지 계통 1선지락전류(그림 5)

$$\begin{aligned} \text{지락전류 } I_g &= 3 \times \frac{100}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R_g} \times \text{기준전류} \\ &= \frac{3 \times 100}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R_g} \times \frac{100,000}{\sqrt{3} \times V} \text{ [A]} \end{aligned}$$

여기서, I_g : 1선 지락전류 [A]

V : 선간전압 [kV]

Z_1, Z_2, Z_0 : 정상, 역상, 영상임피던스

R_g : 고장점의 고장저항 (ON 100MVA)

7.2 저항접지 계통 1선지락전류(그림 6)

$$\text{지락전류 } I_g = 3I_0 = \frac{3E}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3R_g}$$

저항접지의 경우 $Z_0 \gg Z_1, Z_2$ $Z_0 = 3R_N$ 이므로

$$I_g = \frac{3E}{Z_0 + 3R_g} = \frac{3E}{3R_N + 3R_g} = \frac{E}{R_N + R_g} \text{ [A]}$$

7.3 비접지 계통 1선지락전류(그림 7)

(1) 지락전류

$$I_g = \frac{3E}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R_g}$$

일반수용가의 배전계통에서는 직접접지가 아닌 이상 $Z_0 \gg Z_1, Z_2$ 이므로

$$I_g = \frac{3E}{Z_0 + 3R_g} = \frac{3E}{\frac{1}{\frac{1}{3R_0} + j\omega C} + 3R_g}$$

$$= \frac{\left(\frac{1}{R_0} + j3\omega C\right) \cdot E}{\left(1 + \frac{R_g}{R_0}\right) + j3\omega C R_g} \quad [A]$$

완전지락시 $R_g = 0$ 인 경우

$$I_g = 3E \left(\frac{1}{3R_0} + j\omega C \right) = \frac{3E}{3R_0} + j\omega 3CE$$

$$= \frac{E}{R_0} + j\omega C_0 E = \sqrt{I_n^2 + I_c^2} \quad [A]$$

$$\text{위상각 } \theta = \tan^{-1} \frac{I_c}{I_n} = \tan^{-1} \frac{\omega C_0}{1/R_N} = \tan^{-1} \omega C_0 R_N$$

여기서, I_g : 지락전류 [A]

E : 상전압 [V]

R_g : 지락점저항 [Ω]

Z_1, Z_2, Z_0 : 정상, 역상, 영상임피던스

R_0 : 3차 전류 제한저항 r 을 1차로 환산한 3상 일괄 등가저항 $= n^2 r / 9$

C : 1상당 대지 정전용량 [F]

C_0 : 3상 일괄 대지 정전용량 [F]

I_n : GPT 중성점을 통하여 흐르는 지락전류 $= E / R_N$

I_c : 3상 일괄 대지 충전전류 $= j\omega C_0 E$

E : 상전압 [V]

R_g : 지락점저항 [Ω]

R_0 : 3차 전류 제한저항 r 을 1차로 환산한 3상 일괄 등가저항 $= n^2 r / 9$

C : 1상당 대지 정전용량 [F]

② 영상전압의 크기

○ 지락점저항 R_g 가 클수록 \Rightarrow 지락시에 GPT의 3차측에 나타나는 영상전압은 작다.

○ 충전전류 I_c 가 클수록 \Rightarrow 지락시에 GPT의 3차측에 나타나는 영상전압은 작다.

○ 계통의 접지저항 R_0 가 작을수록, 즉 GPT의 설치개소가 많아 병렬회로 임피던스가 되어 값이 작아질수록 \Rightarrow 지락시에 GPT의 3차측에 나타나는 영상전압은 작다.

③ 계통의 지락전류 감도는

일반적으로, 3.3kV 계통에서는 지락저항 R_g 가 3[k Ω] 정도, 6.6kV 계통에서는 지락저항 R_g 가 4~6[k Ω] 정도를 검출할 수 있는 것이 좋다.

④ GPT 3차 오픈 Δ 양단에 연결하는 한류제한저항 CLR의 크기는

$$r = \frac{E}{\sqrt{3}} \times \frac{9}{I_g \times n^2} \quad [\Omega]$$

3.3kV 비접지 계통 : 190V, 50 Ω

6.6kV 비접지 계통 : 190V, 25 Ω

(2) 영상전압

○ 다음호에 계속 됩니다

① GPT 1차측 영상전압

$$V_0 = \frac{E}{\left(1 + \frac{R_g}{R_0}\right) + j3\omega C R_g} \quad [V]$$

GPT 3차측 영상전압

$$V_{0\Delta} = \frac{3}{n} V_0 = \frac{3}{n} \times \frac{E}{\left(1 + \frac{R_g}{R_0}\right) + j3\omega C R_g} \quad [V]$$

여기서, V_0 : GPT 1차측 영상전압 [V]

$V_{0\Delta}$: GPT 3차측 영상전압 [V]

n : GPT 권수비

♣ 연재중인

「산업용기계설비의 전기장치 설치에 관한 기술 기준」은 이번호 지면관계상 쉽니다.