

■ 단락전류의 종류

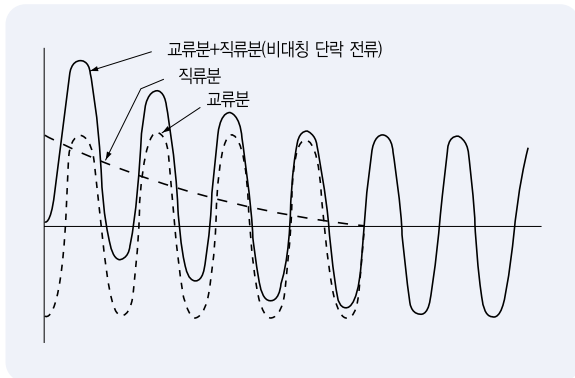
전력계통에 있어서 단락전류를 구하는 경우, 그 값을 사용하는 목적은,

- ① 계통차단기, 휴즈의 선정
- ② 계전기의 조정
- ③ 계통의 기계적 강도에 대한 고려
- ④ 계통의 열적 강도에 대한 고려

등의 검사입니다. 이와같은 검사에 맞게 사용하는 단락전류는 각각 다르며, 단락전류의 표시방법으로서, 교류분으로 표시하는 대칭전류와 직류분을 포함하여 표시하는 비대칭전류로 구분되나, 계통계획에 따라서는, 이들의 차이를 잘 아는 것이 필요합니다.

● 대칭 단락 전류실효치 : $I(rms)_{sym}$

단락전류는 <그림 1>과 같이 교류분과 직류분으로 구성되어 있으며, 교류분 실효치로 표시하는 단락전류를 대칭단락전류 실효치라 말한다. MCCB, ACB, 휴즈를 선정하는 경우, 이 전류에 따라 선정합니다.



<그림 1> 단락전류의 구성

● 최대비대칭단락전류실효치 : $I(rms)_{asym}$

직류분을 포함한 실효치로 표시되는 단락전류를 비대칭단락전류실효치라하며, 이 전류는 단락투입위상에 따라 그 값이 변하게 됩니다. 비대칭단락전류실효치가 최대로 되는 투입위상에 따른 비대칭단락전류실효치를 최대비대칭단락전류 실효치라 하고, 전선 또는 CT등의 열적 강도를 검사하는 경우는 이 전류로 검사합니다. 대칭단락전류실효치 및 회로의 단락역률을 알 수 있으면 <그림 5>로 부터 α 를 구하여 이에 따라 다음과 같이 산출합니다.

$$I(rms)_{asym} = \alpha I(rms)_{sym}$$

● 3상평균비대칭단락전류실효치 : $I(rms)_{ave}$

3상회로에 있어서는 각 상의 비대칭단락전류는 각 상의 투입 위상이 서로 다르기 때문에 직류분의 함유율이 다르므로 거기에 각 상의 비대칭 실효치의 상간평균을 취한 값으로 그 계통의 단락전류를 표시하고, 이것을 3상 평균비대칭실효치라 하며, 대칭단락전류실효치 및 단락역률을 알 수 있으면 <그림 5>에서 β 를 구하여 다음과 같이 계산합니다.

$$I(rms)_{ave} = \beta I(rms)_{sym}$$

● 최대비대칭단락전류순시치 : I_{max}

단락투입위상에 따라 비대칭단락전류의 순시치가 변하는데 비대칭단락전류의 순시치가 최대로 되는 투입위상에 따른 값을 최대비대칭단락전류순시치라 합니다. 이 전류는 직렬기기의 기계적 강도를 시험하는 경우에 사용하고 대칭단락전류실효치 및 단락역률을 알 수 있으면 <그림 5>에서 γ 를 구하여 이에 따라 다음과 같이 계산한다.

$$I_{max} = \gamma I(rms)_{sym}$$

● 단락전류산출에 이용하는 계통의 임피던스

단락전원에서 고장점까지의 회로를 고려한 임피던스 구성요소로서, 다음의 몇가지를 고려할 필요가 있습니다.

a. 수전변압기 1차측 임피던스

전력공급자로부터 제시된 단락전류로부터 산출하여 사용하며, 구해진 값은 리액터스로 생각하여도 좋습니다.

b. 수전변압기 임피던스

변압기 임피던스는 주로 1차 전압 및 변압기 용량에 따라 결정됩니다. 일반적으로 변압기 임피던스는 리액터던스로 생각하여도 되며, 변압기 임피던스는 <표 3>, <표 4>를 참조하십시오.

c. 전동기 리액턴스

회로에 사고가 발생하면 수 Cycle동안 전동기는 발전기로서 동작하여 단락 전류를 공급하며 그 일례는 <그림 2>와 같습니다. 차단기의 동작시간이 빠른 저압회로에서는 상시 전동기의 발전작용을 계산해 넣을 필요가 있으며 고압회로의 경우에도 휴즈를 선정하는 경우에는 고려하여야 합니다. 전동기의 임피던스는 그 출력에 따라 달라지나 25%정도로 생각하면 큰 차이가 없으며 또 전동기 임피던스로 생각하여도 됩니다.

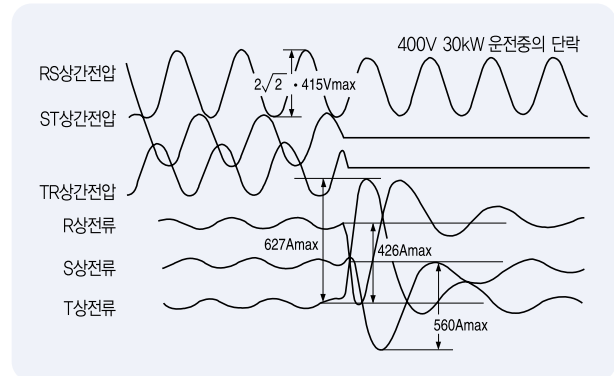
d. 배선의 임피던스

저압계통에서는 Cable, Busduct의 임피던스가 단락전류 억제에 큰 역할을 하기 때문에, Cable, Busduct의 리액터스, 저항을 고려해야 합니다. 전선 및 Busduct의 임피던스에 대해서는 <표 5>, <표 6>에 나타내었습니다.

e. 기타

저압계통에 사용되는 주회로기기로서는 MCCB, ACB, CT등이 있으며, 이들의 임피던스 값을 알고 있는 경우에는 고려합니다. 단, 그 임피던스는 단락전류에 대한 값으로 해야만 합니다.

일반적으로 알고 있는 수치는 정격전류(정상상태)에 대한 값이며, 그대로 사용하면 단시간의 표화를 고려하지 않기 때문에, 큰 값의 리액턴스 값을 사용하게 되므로 주의가 필요합니다.



<그림 2> 전동기에서의 단락전류

■ 퍼센트임피던스에 의한 단락전류의 산출

단락전류의 산출방법은, 오옴법(Ω), 퍼센트임피던스법(% Impedence), 단위법(per unit)등이 있습니다.

● 오옴법

단락전원으로부터 고장점까지의 각 임피던스 값을 전부 오옴 [Ω]값으로 환산하여 단락전류를 산출합니다.

● 퍼센트임피던스법

각 임피던스를 기준량, 기준전압에 대한 임피던스로 환산하고, 전기예산에 필요로 하는 양을 퍼센트로 표시한 후에, 오옴의 법칙을 그대로 적용합니다.

● 단위법

적당히 선정된 기준용량을 1.0으로, 계통내의 제량을 이 값과 관련하여 10진법의 비교로써 표시한 것으로, 퍼센트임피던스 법과는 단위법을 100배한 값을 적용한것만이 다릅니다.

계산법은 어느 것을 사용해도 결과는 동일하게 되며, 어떠한 방법을 적용하여도 무방하나, 각자가 사용하는 방식에 따르는 것이 좋습니다.

여기서는 퍼센트 임피던스법에 대한 설명입니다.

● 기준치의 결정

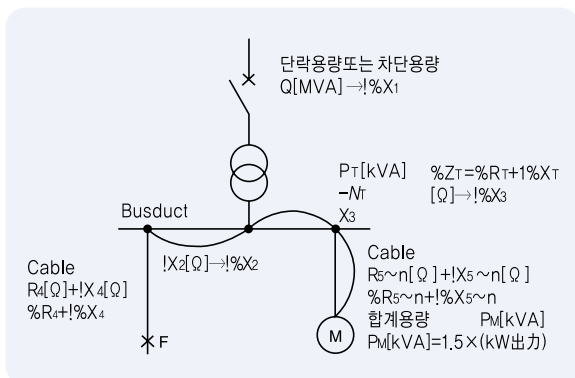
먼저 계산의 기준을 설정한다. 이 값은 적당히 선정한다. 일반적으로 변압기의 정격치를 기준으로 사용하면 됩니다.

기준용량 $P_B = P_T$ [kVA]

기준전압 $V_B = V_T$ [V]

기준전류 $I_B = I_T = \frac{P_T}{\sqrt{3}V_T} \times 10$ [A]

기준 임피던스 $Z_B = \frac{V_B^2}{P_B \times 10^3} = \frac{V_T^2}{P_T \times 10^3}$ [Ω]



<그림 3> 기준치

● 각 임피던스 기준치에의 환산

a. 변압기 1차측 임피던스 : % X_1

$$\%X_1 = \frac{P_B}{Q \times 10^3} \times 100 \text{ [%]}$$

단, Q : 1차측 단락용량 [MVA]

b. 변압기임피던스 : % Z_T

변압기 임피던스는 일반적으로 퍼센트임피던스로 표시된다.

(기준용량) = (변압기용량) 인 경우에는 % Z_T 를 그대로 사용하면 된다. 기준용량과 변압기 용량이 다른 경우에는 다음의 식에 따라 기준용량 기준으로 환산한다.

$$\frac{P_T}{\%Z_T} = \frac{P_B}{\%Z_B} \text{ (기준용량으로의 \%값 환산)}$$

단상변압기인 경우는 3상변압기로 등가변환하며, 그 퍼센트 임피던스는 구해진 전류치를 $\sqrt{3}/2$ 배하면 된다.

$$\%Z(\Phi) = \frac{1}{2} \%Z(\emptyset)$$

c. 전동기 리액턴스 : % X_m

일반적으로 전동기 용량은 kW로 표시 되므로, kVA로 환산한다.

(kVA로의 환산) $\approx 1.5 \times$ (전동기 출력 kW) % $X_m = 25\%$ 이므로, 기준용량 Base에서 환산한다.

$$\frac{P_M}{\%X_m} = \frac{P_B}{\%X_m} \text{ (다른용량에 환산식)}$$

d. Busduct, Cable의 임피던스

일반적으로 단면적 (Busduct의 경우는 정격전류) 및 길이가 표시된다. <표 5>, <표 6>에서

$Z_c =$ (단위 길이당 Ω 치) $\times$ (길이) [Ω] 이것을 %치로 환산한다.

$$\%Z_c = \frac{Z_c}{Z_B} \times 100 \text{ [%]} \text{ (}\Omega\text{치로 준 경우 \%치로 환산식)}$$

같은 크기의 전선을 2개로 사용하는 경우에는 길이를 반분하여 계산하는 것이 적절합니다.

단락전류 계산법

● 임피던스 Map의 작성

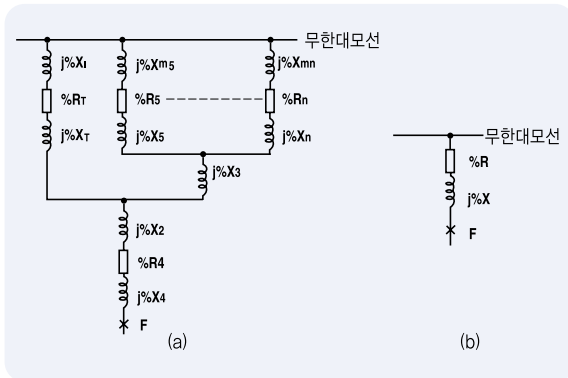
(2)에서 구한 임피던스에 따라 임피던스 Map을 작성한다. 전원, 전동기 등 단락전류 공급원은 임피던스 Map에서는 동전위로 되기 때문에, <그림 4(a)>와 같이 무한대 모선에 이것을 연결하여, 고장점 F까지의 사이에 있는 임피던스의 직렬, 병렬을 주의하여 임피던스 Map을 만든다.

● 임피던스의 합성

<그림 4(a)>의 임피던스 Map에서, 직병렬계산에 따라 <그림 4(b)>같이 임피던스를 정한다.

$$\%Z = \%R + j \%X$$

$$\%Z = \sqrt{(\%R)^2 + (\%X)^2}$$



<그림 4> 임피던스 Map

● 대칭단락전류의 실효치 산출

$$\begin{aligned} I_f(3\phi) &= I_f(\text{rms})_{\text{sym}}(3\phi) \\ &= \frac{P_B \times 10^3}{\sqrt{3} V_B \cdot \%Z} \times 100 \\ &= \frac{I_B}{\%Z} \times 100 [\text{A}] \end{aligned}$$

● 각종 단락전류의 계산

$$\text{단락역률 } \cos\phi = \frac{\%R}{\%Z} \text{ 같이 <그림 5>로 부터,}$$

α, β, γ 를 구하여, 각종 단락전류를 구한다.

3상 평균비대칭실효치

$$I_f(\text{rms})_{\text{ave}} = \beta I_f(\text{rms})_{\text{sym}}$$

최대비대칭실효치

$$I_f(\text{rms})_{\text{asym}} = \alpha I_f(\text{rms})_{\text{sym}}$$

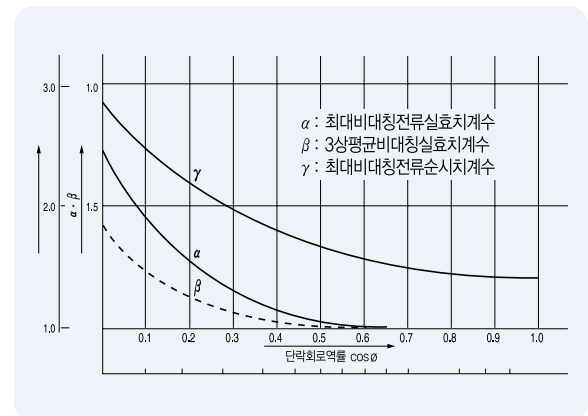
최대비대칭순시치

$$I_{f\text{max}} = \gamma I_f(\text{rms})_{\text{sym}}$$

● 단상단락의 경우

단상단락의 경우에는 (5)에서 구한 전류치를 $\frac{\sqrt{3}}{2}$ 배하면 된다.

$$\text{각 단락전류}(1\phi) = \frac{\sqrt{3}}{2} (3\text{상 단락전류}) \times \alpha \text{ (또는 } \gamma)$$



<그림 5>

■ 간이계산법에 의한 단락전류의 산출

단락전류는 그 검사항목에 대한 시간, 노력을 어느정도 기울여서 정확히 구해야 하는 경우도 있으나, 아무리 정확히 계산하여도 그 정확도에는 한도가 있다. 따라서, 여기서는 도표를 이용하여 대칭단락전류실효치를 실용에 제공하는 정도에서 간이계산법을 설명한다.

● 기준치의 결정

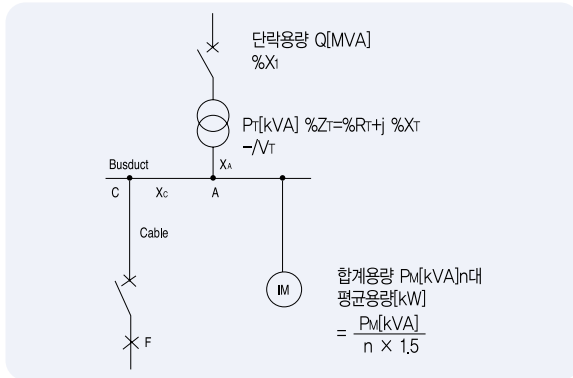
변압기의 정격치를 기준으로 하면 된다.

$$P_B = P_T \text{ [kVA]}$$

$$V_B = V_T \text{ [V]}$$

$$I_B = I_T \text{ [A]}$$

$$Z_B = \frac{V_T^2}{P_T \times 10^3} \text{ [}\Omega\text{]}$$



<그림 6> 기준치

● 수전회로부터의 단락전류

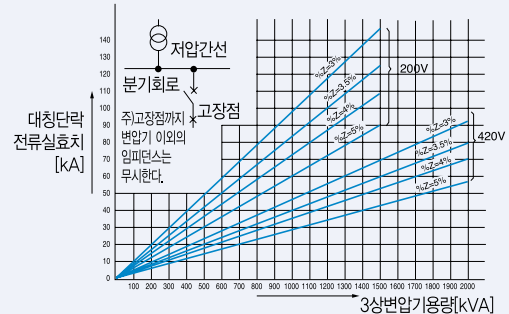
변압기 1차측임피던스는 계산을 간단히 하기 위하여 무시한다. <그림 7>에 의하여 변압기로부터의 단락전류를 구한다. (변압기 1차측 임피던스를 고려한 경우는 다음과 같이 변압기까지의 전류를 계산한다.)

$$I_{A(R)} = \frac{I_B}{\sqrt{(\%R_T)^2 + (\%X_T + \%X_1)^2}} \times 100 \text{ [A]}$$

$$\text{단, } \%X_1 = \frac{P_B}{Q \times 10^3} \times 100 \text{ [%]}$$

%R_T가 분명치 않으면, %Z_T = %T_T하여

$$I_{A(R)} = \frac{I_B}{\%X_1 + \%X_T} \times 100 \text{ [A]}$$



주1) 임의의 전압 E일때의 산출법

E에 가까운 곳의 전압곡선을 선택하여 산출한다.

예를들면, 220V의 경우 (200V 곡선치) $\div \frac{200}{220}$ 에서 구해진다.

주2) 임의의 임피던스 Zt(%)일때의 산출법

Zt(%)에 최대로 가까운 임피던스 곡선을 이용해서 산출한다. 예를들면

420V, Zt=4.5%의 경우 %Z=4% 곡선치(또는 5% 곡선) $\times \frac{4(\text{또는 } 5)}{4.5}$ 에서 구한다.

주3) 이 곡선 범위밖일때, 또는 200VA 초과 또는 100kVA 미만일때는 이 곡선에서 구해진 값에 10n배하여 구한다.

<그림 7> 변압기 용량과 대칭단락전류

● 전동기까지의 단락전류

$$I_{A(M)} = 4 \times \text{I(전동기 정격전류)}$$

● A점에 있어서의 대칭단락전류

$$I_A = I_{A(R)} + I_{A(M)}$$

● Busduct에 의한 감소계수 a를 구한다.

$$\frac{l}{10V_T} \text{ 를 구하여,}$$

<그림 10>에서 Busduct에 의한 감소계수 a를 구한다.

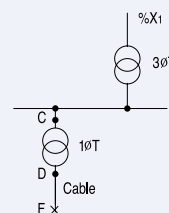
$$I_{c(rms)sym} = a \times I_A$$

● 리액턴스에 의한 단락전류의감소

회로에 단상 변압기가 들어있는 경우, 리액턴스로 하여 계산을 한다. <그림 8>의 점에서 전원측 순임피던스를 리액턴스로 간주하면

$$X_C = \frac{E_B}{\sqrt{3} I_c}$$

C-D점간의 리액턴스 : $X_D \text{ [}\Omega\text{]} (1\% T \text{의 임피던스})$



단락전류 계산법

X_D/X_C 를 구하여 <그림 9>에서 리액턴스에 의한 감소계수 d 를 구한다. D점에 있어서 전류 $I_b = d \cdot I_c$

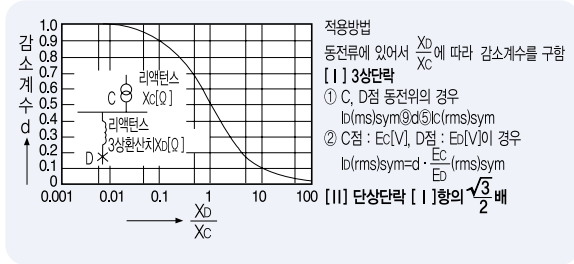
단상변압기의 임피던스 $X_D = \frac{1}{2} \times (I_c)$ 로 계산한다.

a. Ec전압기준에서의 단락전류

$$I_{b(rms)sym} \cdot \sqrt{3} = d \cdot I_{c(rms)sym} \cdot \sqrt{3}$$

b. Ed전압기준에서의 단락전류

$$I_{b(rms)sym} \cdot \sqrt{3} = d \cdot I_{c(rms)sym} \cdot \sqrt{3} \times E_c/E_d$$



<그림 9> 리액턴스에 따른 단락전류의 감소계수 : d

● Cable에 따른 감소계수 b를 구한다.

$\frac{l}{10V_T} I_b$ 를 구하여, <그림 13>에서 Cable에 의한 감소계수 b를 구한다. 애자인출 배선의 경우는, <그림 13>에서 구해도 지장이 없다.

● 대칭단락전류실효치의 산출

$$\text{대칭단락전류실효치 } I_{f(rms)ave} = b \times I_b [D]$$

● 각종단락전류

단락역률을 알고 있는 경우는 <그림 5>에 따라 α, β, γ 를 구한다.

단락역률을 알 수 없는 경우는 <표 1>에서 α, β, γ 를 구한다.

$$\text{3상단락비대칭평균치 } I_{f(rms)ave} = \beta I_{f(rms)sym}$$

$$\text{최대비대칭실효치 } I_{f(rms)ave} = \alpha I_{f(rms)sym}$$

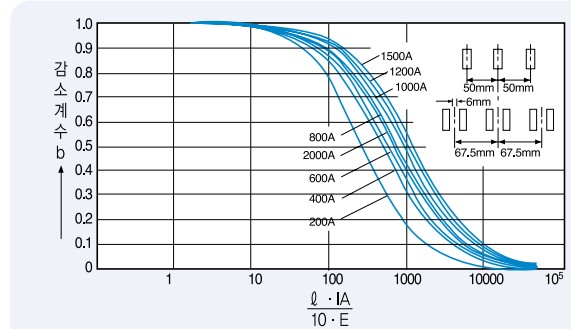
$$\text{최대비대칭순시치 } I_{f(rms)ave} = \gamma I_{f(rms)sym}$$

<표2> 단락역률이 불분명한 경우의 α, β, γ 치

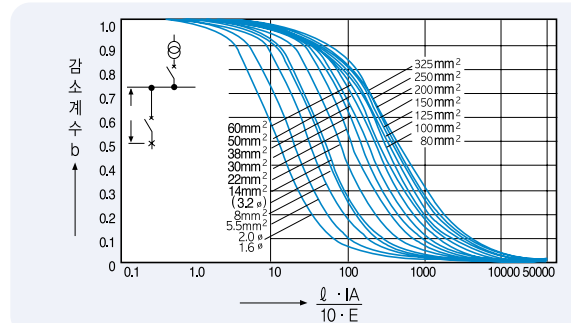
대칭단락전류 실효치[A]	계 수		
	최대비대칭실효치 α	3상 평균실효치 β	최대비대칭순시치 γ
2500이하	1.0	1.0	1.48
2501~5000	1.03	1.02	1.64
5001~1000	1.13	1.07	1.94
1001~15000	1.18	1.09	2.05
15001~25000	1.25	1.13	2.17
25000초과	1.33	1.17	2.29

● 단상단락의 경우

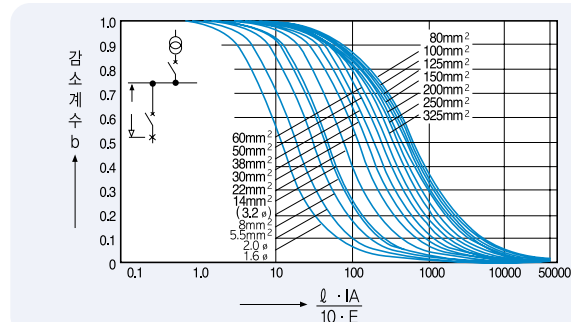
$$(\text{각 전류}) = \frac{\sqrt{3}}{2} \times (\text{3상단락전류}) \times \gamma (\text{또는 } \alpha)$$



<그림 10> 보통형 Busduct(Cu)에서의 단락전류 감소계수 a



<그림 11> Cable(600V IV)에서의 단락전류 감소계수 b (금속관, Duct배선)

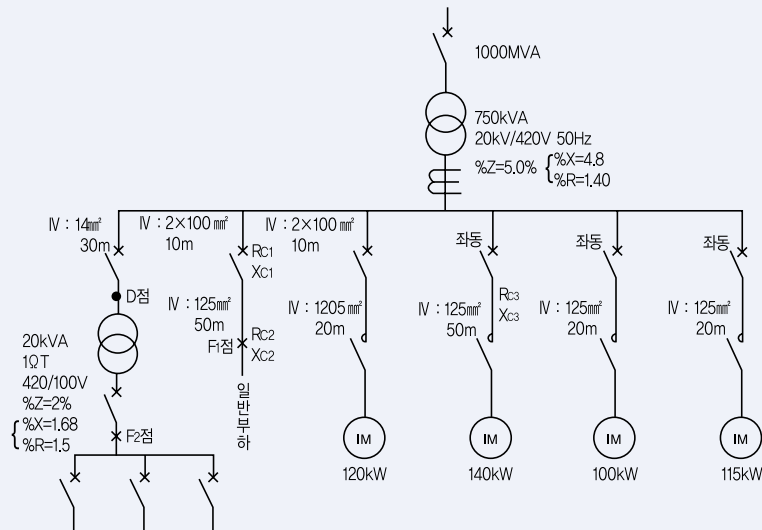


<그림 12> Cable(600V IV)에서의 단락전류 감소계수 b (경질비닐배선)

※ 상기 Data는 Fuji전기에서 제공한 Data입니다.

■ 계산예

계산1 <그림 13>의 경우에 대하여 퍼센트임피던스법과 간이계산법에 의해 단락전류를 산출해 본다.



<그림 13>

● 퍼센트임피던스법

(1) 기준치

$$P_B = 750\text{kVA} \quad V_B = 420\text{V}$$

$$I_B = 1031\text{A} \quad Z_B = 0.237\Omega$$

(2) 각 임피던스

a. 변압기 1차측 리액턴스

$$\%X_1 = \frac{750}{1000 \times 10^3} \times 100 = 0.075 \text{ [%]}$$

b. 변압기 임피던스

$$\%R_T = 1.4\%$$

$$\%X_T = 4.8\%$$

c. ϕ_{Tr} 임피던스

$$\%R_{T1} = \frac{1.15 \times 750}{20} \times \frac{1}{2} = 21.6 \text{ [%]}$$

$$\%X_{T1} = \frac{1.68 \times 750}{20} \times \frac{1}{2} = 31.5 \text{ [%]}$$

d. 전동기리액턴스

$$\%X_{m1} = \frac{750}{120 \times 1.5} \times 25 = 104 \text{ [%]}$$

$$\%X_{m2} = \frac{750}{140 \times 1.5} \times 25 = 89 \text{ [%]}$$

$$\%X_{m3} = \frac{750}{100 \times 1.5} \times 25 = 125 \text{ [%]}$$

$$\%X_{m4} = \frac{750}{115 \times 1.5} \times 25 = 108.7 \text{ [%]}$$

e. Cable 임피던스

여기서는 전체 금속관에서의 임피던스로 환산함.

• $2 \times 100\text{mm}^2$ 10m의 경우

$$\%R_{C1} = \frac{0.00018 \times 10}{0.237} \times \frac{1}{2} \times 100 = 0.38 \text{ [%]}$$

$$\%X_{C1} = \frac{0.00013 \times 10}{0.237} \times \frac{1}{2} \times 100 = 0.27 \text{ [%]}$$

• 125mm^2 20m의 경우

$$\%R_{C2} = \frac{0.00014 \times 20}{0.237} \times 100 = 1.18 \text{ [%]}$$

$$\%X_{C2} = \frac{0.00013 \times 20}{0.237} \times 100 = 1.09 \text{ [%]}$$

• 250mm^2 50m의 경우

$$\%R_{C3} = \frac{0.00007 \times 50}{0.237} \times 100 = 1.47 \text{ [%]}$$

$$\%X_{C3} = \frac{0.00013 \times 50}{0.237} \times 100 = 2.74 \text{ [%]}$$

• 14mm^2 30m의 경우

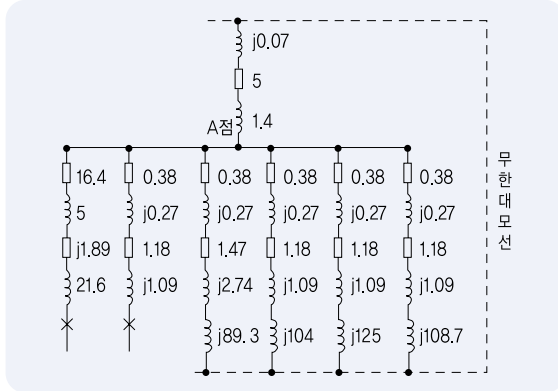
$$\%R_{C4} = \frac{0.0013 \times 30}{0.237} \times 100 = 16.45 \text{ [%]}$$

$$\%X_{C4} = \frac{0.00015 \times 30}{0.237} \times 100 = 1.88 \text{ [%]}$$

단락전류 계산법

(3) 임피던스의 Map의 작성

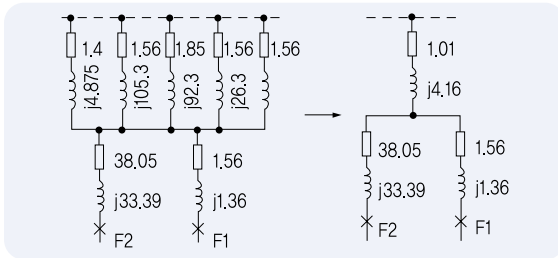
단락전류공급원으로 되는 것을 무한대모선에 연결한다.



<그림 14>

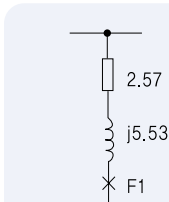
(4) 임피던스의 합성

직병렬계산에 따라 합성한다.



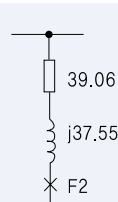
<그림 15>

a. F1고장점



$$\%Z_1 = \sqrt{(2.57)^2 + (5.53)^2} = 6.1[\%]$$

b. F2고장점



$$\%Z_2 = \sqrt{(39.06)^2 + (37.55)^2} = 54.2[\%]$$

(5) 대칭단락전류의 산출

a. F1고장점

$$I_{F1(rms)sym} = \frac{1031}{6.1} \times 100 = 16900 [A]$$

$$\cos\phi_1 = \frac{2.57}{6.1} = 0.422$$

b. F2고장점(단성회로)

$$I_{F2(rms)sym} = \frac{1031}{54.2} \times 100 = 1902 [A] \dots (420V기준)$$

$$= \frac{1031}{54.2} \times 100 \times \frac{420}{100} = 7989 [A] \dots (100V기준)$$

$I_{F2(rms)sym}$ 은 3상 단락전류(등가적으로)이다.

따라서 이것을 단상단락전류로 환산한다.

$$I_{F2(rms)1\phi sym} = 7989 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 6919 [A]$$

$$\cos\phi_2 = \frac{39.06}{54.2} = 0.72$$

(6) 각종단락전류

<그림 5>에서 α, β, γ 를 구한다.

a. F1고장점

$$\cos\phi_1 = 0.422 \text{에서}$$

$$\alpha = 1.05 \quad \beta = 1.3 \quad \gamma = 1.74$$

$$I_{F1(rms)ave} = 1.03 \times 16900 = 17407 [A]$$

$$I_{F1(rms)asym} = 1.05 \times 16900 = 17745 [A]$$

$$I_{F1max} = 1.74 \times 16900 = 29406 [A]$$

b. F2고장점

$$\cos\phi_2 = 0.72 \text{에서}$$

$$\alpha = 1.0 \quad \beta = 1.48$$

$$I_{F21\phi(rms)asym} = 1.0 \times 6919 [A]$$

$$I_{F21\phi max} = 1.48 \times 6919 = 10240 [A]$$

간이계산법

(1) 기준치

$$P_B = 750kVA \quad V_B = 420V$$

$$I_B = 1031A \quad Z_B = 0.237\Omega$$

(2) 수전회로에서의 단락전류

변압기 1차측 임피던스는 무시한다.

<그림 7>에서 $I_{A(R)} = 20500 A$

(3) 전동기에서의 단락전류

$$\text{합계전동기용량} = (120+140+100+115) \times 1.5 = 713 [kVA]$$

$$I_{A(M)} = \frac{713}{\sqrt{3} \times 420} \times 4 = 3920 [A]$$

(4) A점에서의 대칭단락전류

$$I_A = 20500 + 3920 = 24420 [A]$$

(5) Cable에 따른 감소

a. F₁고장점에 대하여

- 2×100mm² 10m에 따른 감소

2×100mm² 10m는 100mm² 5m에 상당

$$\frac{l}{10E} = \frac{20 \times 24420}{10 \times 420} = 29.1$$

Cable에 따른 감소계수 b = 0.935

C 점에서의 단락전류

$$I_{C(rms)sym} = 0.935 \times 24420 = 22850 \text{ [A]}$$

- 125mm² 20m에 따른 감소

$$\frac{l}{10E} = \frac{20 \times 22850}{10 \times 420} = 108.9$$

$$I_{F1(rms) sym} = 0.785 \times 244850 = 17940 \text{ [A]}$$

b. F₂고장점에 대하여

- 14mm² 30m에 따른 감소

$$\frac{l}{10E} = \frac{30 \times 24420}{10 \times 420} = 174.4$$

Cable에 따른 감소계수 b = 0.249

$$I_{D(rms) sym} = 0.24 \times 24420 = 6080 \text{ [A]}$$

- 리액턴스(X_L)에 의한 감소

X_L Tr의 %X를 기준용량에 대하여 환산

$$X_D = 750 \times 2/20 = 75\%$$

X_L Tr에서 전원측의 임피던스 X_A

$$X_A = \frac{I_B}{I_D} \times 100 = \frac{1031}{6080} \times 100[\%]$$

X_D를 등가3상으로 환산하여 양쪽의 비를 취한다.

$$\frac{X_D/2}{X_A} = \frac{750 \times 2 \times 6080}{20 \times 2 \times 1031 \times 100} = 2.21$$

<그림 9>에서

리액턴스에 의한 감소계수 d = 0.32

$$I_{F2(rms) sym} = 0.32 \times 6080 = 1945 \text{ [A]} \quad (420V \text{ 기준})$$

$$= 0.32 \times 6080 \times 420/100 = 817 \text{ [A]} \quad (100V \text{ 기준})$$

$$\therefore I_{F2(rms) sym} = 817 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 7076 \text{ [A]}$$

(6) 각종단락전류

<표1>에서 α, β, γ를 구한다.

a. F₁고장점의 경우

$$\alpha = 1.25 \quad \beta = 1.13 \quad \gamma = 2.17$$

$$I_{F1(rms)ave} = 1.13 \times 17940 = 20272 \text{ [A]}$$

$$I_{F1(rms)asym} = 1.25 \times 17940 = 22425 \text{ [A]}$$

$$I_{F1max} = 2.17 \times 17940 = 38930 \text{ [A]}$$

b. F₂고장점의 경우

$$\alpha = 1.13 \quad \gamma = 1.94$$

$$I_{F2(rms)asym} = 1.13 \times 7076 = 7945 \text{ [A]}$$

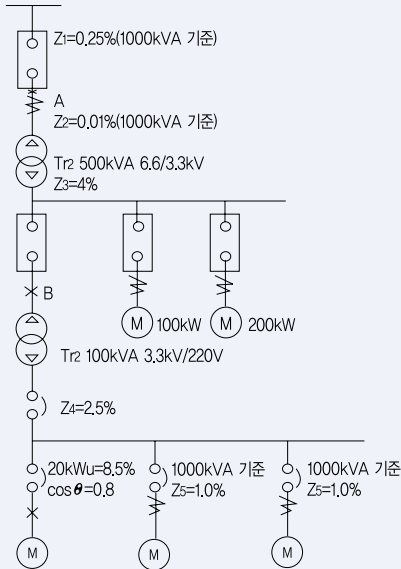
$$I_{F2max} = 1.94 \times 7076 = 13727 \text{ [A]}$$

<표2> 단락전류의 비교

고장점		F ₁	F ₂
대칭 단락 전류	퍼센트임피던스법계산치	16900A	6919A
	간이계산법계산치	17940A 106%	7076A 102%
3상 평균 실효치	퍼센트임피던스법계산치	17407A	-
	간이계산법계산치	20272A 116%	-
최대 실효치	퍼센트임피던스법계산치	17745A	6919A
	간이계산법계산치	22425A 126%	7995A 115%

단락전류 계산법

계산2 <그림16>의 경우에 대하여 간이 계산법으로 단락전류를 산출해 본다.



<그림 16>

(1) 각 점에서의 정격 전류를 구한다.

① A점에서 정격전류 I_{nA} 는 다음과 같이 구한다.

$$I_{nA} = \frac{500 [\text{kVA}] \times 1000}{\sqrt{3} \times 6.6 [\text{kV}] \times 1000} = 43.7 [\text{A}]$$

② B점에서의 정격전류 I_{nB} 는 다음과 같이 구한다.

$$I_{nB} = \frac{100 [\text{kVA}] \times 1000}{\sqrt{3} \times 3.3 [\text{kV}] \times 1000} = 17.5 [\text{A}]$$

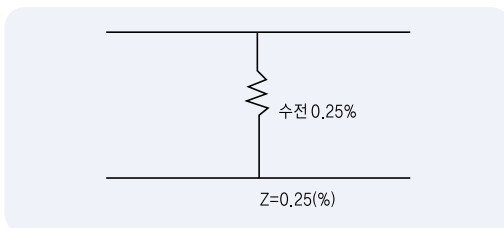
③ C점에서의 정격전류 I_{nC} 는 다음과 같이 구한다.

$$I_{nC} = \frac{20 [\text{kW}] \times 1000}{\sqrt{3} \times 220 [\text{V}] \times 0.85 \times 0.8} = 77.2 [\text{A}]$$

(2) 기준용량을 1000kVA로 하여 각 점에서의 단락전류를 구한다.

① A점에서의 단락전류 I_{SA}

a) Impedance Map 작성



b) 단락전류 I_{SA} 를 구하면,

$$I_{SA} = \frac{1000 [\text{kVA}] \times 1000 \times 100}{\sqrt{3} \times 6.6 [\text{kV}] \times 1000 \times 0.25\%} = 34990 [\text{A}]$$

* 차단기의 차단용량 [MVA]은

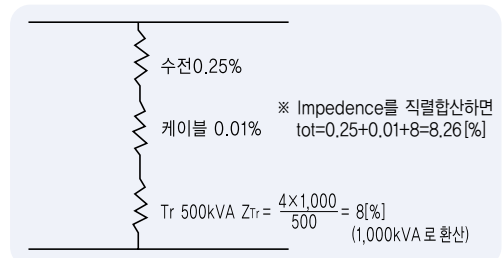
$$\text{MVA} = \sqrt{3} \times \text{단락전류} [\text{kA}] \times \text{선간전압} [\text{kV}]$$

② B점에서의 단락전류 : I_{SB}

a) Impedance Map 작성

* Impedance를 직렬합산하면

$$Z_{\text{tot}} = 0.25 + 0.01 + 8 = 8.26 [\%]$$



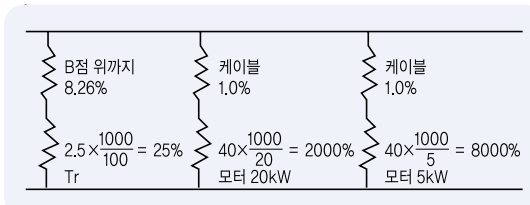
b) 단락전류 I_{SB} 를 구하면

$$I_{SB} = \frac{1000 [\text{kVA}] \times 1000 \times 100}{\sqrt{3} \times 3.3 [\text{kV}] \times 1000 \times 8.26\%} = 2118 [\text{A}]$$

* 차단기의 차단용량 [MVA]은

$$\text{MVA} = \sqrt{3} \times \text{단락전류} [\text{kA}] \times \text{선간전압} [\text{kV}]$$

③ C점에서의 단락전류 : I_{SC}



Impedance를 병렬 합산하면

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{33.26} + \frac{1}{2001} + \frac{1}{8000}} = 32.58 [\%]$$

b) 단락전류 I_{SC} 를 구하면

$$I_{SC} = \frac{1000 [\text{kVA}] \times 1000 \times 100}{\sqrt{3} \times 220 [\text{V}] \times 32.58 [\%]} = 8055 [\text{A}]$$

계산 공식

$$\bullet \text{ 정격전류 : } I_n = \frac{\text{변압기용량}}{\sqrt{3} \times \text{정격전압}}$$

$$\bullet \text{ 단락전류 : } I_s = \frac{\text{변압기용량} \times 100}{\sqrt{3} \times \text{정격전압} \times \%Z}$$

■ 변압기 및 선로 임피던스의 예

<표 3> 변압기의 임피던스 예

변압기의 종류 임피던스 변압기의 용량(VA)	3상 변압기											
	6.3kV/210V 유입식			6.3kV/210V 몰드			20kV/420V 유입식			20kV/420V 몰드		
	ZT[%]	RT[%]	XT[%]	ZT[%]	RT[%]	XT[%]	ZT[%]	RT[%]	XT[%]	ZT[%]	RT[%]	XT[%]
20	2.19	1.94	1.03									
30	2.45	1.92	1.53	4.7	2.27	4.12						
50	2.47	1.59	1.89	4.7	1.94	4.28						
75	2.35	1.67	1.66	4.4	1.56	4.11						
100	2.54	1.65	1.96	4.6	1.5	4.24						
150	2.64	1.64	2.07	4.2	1.29	4.0						
200	2.8	1.59	2.31	4.5	1.17	4.35						
300	3.26	1.46	2.92	4.5	1.2	4.33						
500	3.61	1.33	3.36	4.7	0.08	4.69	5.0	1.56	4.76	6.0	1.0	5.92
750	4.2	1.55	3.9	6.0	0.8	5.95	5.0	1.40	4.80	6.0	0.9	5.93
1000	5.0	1.35	4.82	7.0	0.7	6.96	5.0	1.26	4.84	6.0	0.8	5.95
1500	5.1	1.22	4.95	7.0	0.6	6.97	5.5	1.2	5.37	7.0	0.75	6.96
2000	5.0	1.2	4.85	7.5	0.65	7.47	5.5	1.1	5.39	7.0	0.7	6.96

<표 4> 변압기의 임피던스 예

변압기의 종류 임피던스 변압기의 용량(VA)	단상 변압기					
	6.3kV/210V 유입식			6.3kV/210V 몰드		
	ZT[%]	RT[%]	XT[%]	ZT[%]	RT[%]	XT[%]
10				14.9	14.9	0.268
20				14.0	14.0	0.503
30				14.8	14.8	0.523
50				13.6	13.6	0.494
75				11.0	11.0	0.558
100				8.87	8.85	0.562
200				7.70	7.68	0.571
300				5.75	5.69	0.619
500				5.08	4.97	1.05
750				5.05	4.92	1.16
1000				4.03	3.93	0.904
2000				4.55	4.50	0.637
3000				4.29	4.22	0.768
5000				3.26	3.18	0.725
7500				2.72	2.81	0.775
10000	2.5	2.07	1.40	2.33	2.18	0.823
15000	2.37	1.84	1.49	2.04	1.82	0.937
20000	2.57	1.76	1.87	1.90	1.60	1.02
30000	2.18	1.58	1.50			
50000	2.05	1.47	1.42			
75000	2.27	1.46	1.74			
100000	2.48	1.49	1.98			
150000	3.39	1.31	3.13			
200000	3.15	1.31	2.87			
300000	2.23	1.28	2.96			
500000	4.19	1.09	4.03			

<표 5> Cable 임피던스 예(600V 비닐전선)

전선의 크기	전선 1가닥의 길이 1m당 임피던스[Ω]			전선1가닥의 길이 1m당 저항[Ω]
	강관 또는 Duct에 들어 있는 절연전선 또는 Cable	강관 또는 Duct에 들어 있는 Cable 비닐관배선	육선의 애자 배선	
Ø 1.6mm				0.0089
Ø 2mm				0.0056
Ø 3.2mm	0.00020	0.00012	0.00031	0.0022
5.5mm ²				0.0033
8mm ²				0.0023
14mm ²				0.0013
22mm ²	0.00015	0.00010	0.00026	0.00082
30mm ²				0.00062
38mm ²				0.00048
50mm ²				0.00037
60mm ²				0.00030
80mm ²				0.00023
100mm ²				0.00018
125mm ²	0.00013	0.00009	0.00022	0.00014
150mm ²				0.00012
200mm ²				0.00009
250mm ²				0.00007
325mm ²				0.00005

<비고1> 60Hz에는, 리액턴스가 1.2배가 되기 때문에 전원측리액턴스에 1/2의 리액턴스를 가하여 IB를 구한다.

<비고2> 전선이 2가닥 또는 3가닥의 병렬로 쓰인 리액턴스와 저항은 전선의 길이를 실제길이의 1/2 또는 1/3 한것으로 계산하면 된다.

※ 상기 Data는 Fuji전기에서 제공한 Data입니다.

〈표 6〉 Busduct의 임피던스 예 (LS산전)

• Aluminium Conductor

[$\times 10^{-4} \Omega/m$]

Ampere Rating (A)	50Hz			60Hz		
	R	X	Z	R	X	Z
600	1.257	0.323	1.297	1.385	0.387	1.438
800	0.848	0.235	0.879	0.851	0.282	0.896
1000	0.641	0.185	0.667	0.645	0.222	0.682
1200	0.518	0.152	0.540	0.523	0.183	0.554
1350	0.436	0.129	0.454	0.443	0.155	0.469
1500	0.378	0.113	0.394	0.386	0.135	0.409
1600	0.360	0.107	0.375	0.367	0.128	0.389
2000	0.286	0.084	0.298	0.293	0.101	0.310
2500	0.218	0.065	0.228	0.221	0.078	0.235
3000	0.180	0.054	0.188	0.184	0.064	0.195
3500	0.143	0.042	0.149	0.146	0.051	0.155
4000	0.126	0.038	0.131	0.129	0.045	0.136
4500	0.120	0.036	0.125	0.122	0.043	0.130
5000	0.095	0.028	0.099	0.098	0.034	0.103

• Copper Conductor

[$\times 10^{-4} \Omega/m$]

Ampere Rating (A)	50Hz			60Hz		
	R	X	Z	R	X	Z
600	0.974	0.380	1.045	0.977	0.456	1.078
800	0.784	0.323	0.848	0.789	0.387	0.879
1000	0.530	0.235	0.580	0.536	0.282	0.606
1200	0.405	0.185	0.445	0.412	0.222	0.468
1350	0.331	0.152	0.364	0.338	0.183	0.384
1500	0.331	0.152	0.364	0.338	0.183	0.384
1600	0.282	0.129	0.311	0.289	0.155	0.328
2000	0.235	0.107	0.259	0.241	0.128	0.273
2500	0.166	0.076	0.182	0.169	0.091	0.192
3000	0.141	0.065	0.155	0.144	0.078	0.164
3500	0.122	0.056	0.135	0.127	0.068	0.143
4000	0.110	0.051	0.121	0.113	0.061	0.126
4500	0.094	0.043	0.104	0.096	0.052	0.109
5000	0.082	0.038	0.091	0.084	0.045	0.096
5500	0.078	0.035	0.086	0.080	0.043	0.091
6500	0.068	0.028	0.074	0.071	0.031	0.077

주) 저항 R은 95℃에서의 도체 저항값

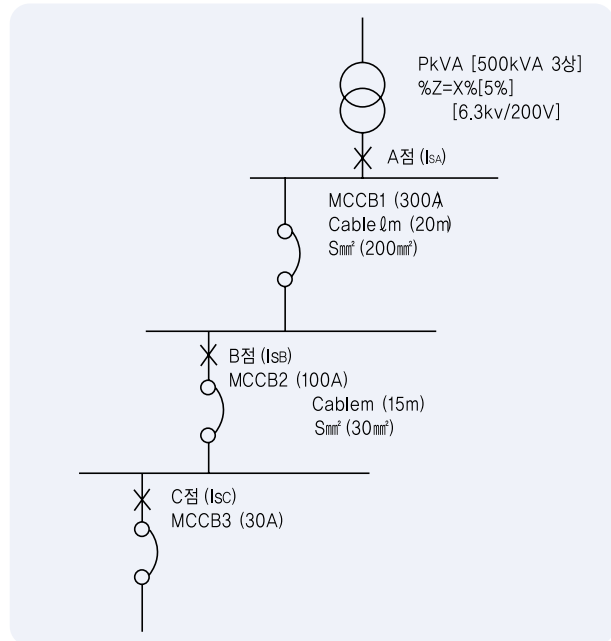
■ 단락전류 계산법 예

단락전류계산법 예는 한장의 도표를 이용하여 계통상의 임의의 위치에 대한 단락전류의 계산은 물론 계통조건이 다른 경우에도 연속적으로 조작함으로써 필요한 위치의 단락 전류를 계산할 수 있습니다.

● 도표설명

- P좌표 변압기용량 (kVA)
 I_{S1} 좌표 단락전류치(kA)
 I_{S2} 좌표 Cable에서의 감쇠를 고려한 단락전류치(kA)
 ㉠곡선 변압기의 % 임피던스(%)
 ㉡곡선 Cable의 길이 (m)
 ㉢곡선 Cable의 길이 (mm^2)
 ㉣곡선 I_{S2} 을 표시(kA)

참고 : ㉣ 곡선은 Cable(600V IV)경질비닐관배선의 경우에 적용한 것임.



● 단락전류를 구하는 방법

(1) 3상 변압기의 경우

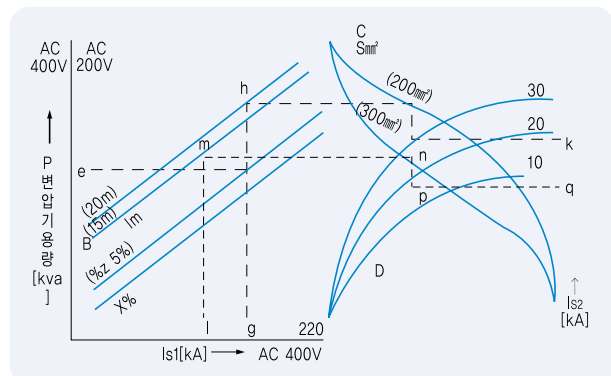
- ① 변압기 직하단 (A)의 단락전류치
 P좌표상의 변압기용량(e)와 A곡선의 교점(f)에 대한 I_{S1} 좌표 값 (g)를 구한다. 단, 변압기의 1차측 임피던스 무시한다.
- ② Cable의 임피던스를 고려한 위치 (B점, C점)의 단락전류치
 • I_{S1} 좌표상의 단락전류치 g(kA)의 B곡선상의 값(h)를 구한다.
 • (h)를 I_{S1} 축에 평행하게 이동하여 C곡선과의 교점(i)를 구한다.
 • (i)를 I_{S2} 축에 평행하게 이동시켜 D곡선의 (g)값과 교점(j)의 I_{S2} 좌표치(k)를 구한다.

(2) 단상변압기의 경우

- ① 변압기 직하단의 단락전류치
 • 3상 변압기의 경우와 동일하게 구하여 그 값에 3배를 한다. ($g' \text{ kA}$)
- ② Cable의 임피던스를 고려한 위치의 단락전류치
 • I_{S1} 좌표상의 g' 에 2~3 배를 곱한다.
 • 3상 변압기의 경우와 동일하게 I_{S2} 값을 구한다. 그 값에 3/2배를 한다.

● 주의사항

1. 전동기 Contribution은 고려하지 않았습니다. 필요한 경우에는 전동기 정격전류의 약 4배를 하여 주십시오.
2. 정격전압은 AC200V, 400V로하여 실제 흐르는 단락전류치는 산출치보다 약간 작아집니다. 따라서 전류치는 안정성을 고려하여 산출해주시시오.
3. 산출한 전류치는 대칭설치입니다.



단락전류 계산법

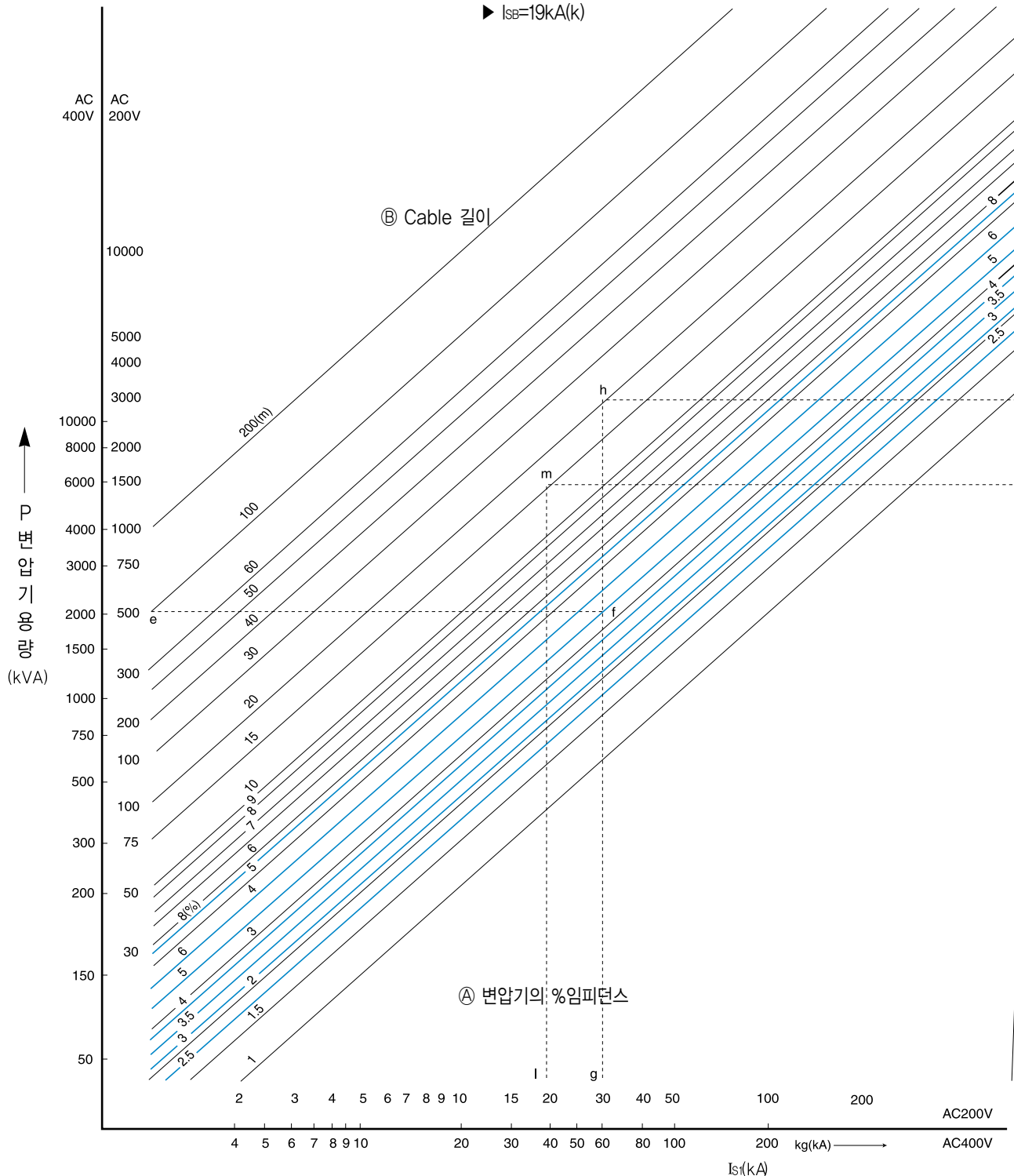
■ 단락전류 산출 그래프

(1) A점의 단락전류치(IsA)

- P좌표상의 변압기용량(500kVA)와 A직선 (5%)과의 교점의 Is1 좌표치 (g)를 구한다.
- ▶ IsA=29kA(g)

(2) B점의 단락전류치(IsB)

- Is1좌표상의 단락전류치 g(=29kA)의 ㉔곡선(20m)상의 값h를 구한다.
- h를 Is2 축과 평행하게 이동하여 ㉔곡선(200mm²)과의 교점 i를 구한다.
- i를 Is2축과 평행이동하여 ㉔곡선(g=29kA)과의 교점 j를 구한다.
- ▶ IsB=19kA(k)



(3) C점의 단락전류치(Isc)

- B점에서의 단락전류치 k(=19kA)의 Is1좌표상의 값 (19kA)와 B 곡선(15m)와의 교점 m을 구한다.
- m을 Is1축과 평행하게 이동하여 C곡선(30mm²)과의 교점 n를 구한다.

- n을 Is2축과 평행하게 이동하여 D곡선 (I=19kA)과의 교점 p의 Is2좌표치(g)를 구한다.
- ▶ Isc=10kA(g)

