

계통의 고장전류 계산(I)

차 례

1. 고장전류 계산결과 활용
2. 단락전류 대책

1. 고장전류 계산결과 활용

1.1 차단기 용량계산

1.1.1 목적

차단기는 전력계통의 주요기기의 하나로서 정상적인 부하전류의 개폐는 물론 고장전류의 개폐도 이상없이 행하여야 하므로 구내 전력계통의 단락전류를 계산하고 이를 근거로 기존 차단기의 단락용량과 비교하여 차단용량이 충분한가를 검토하기 위함이다.

1.1.2 차단기의 일반사항

- 정격전압 : 규정된 조건에 따라 그 차단기에 가할 수 있는 사용전압의 한계를 말하며 7.2KV, 25.8KV(24KV) 등이 있다.
- 정격전류 : 정격전압 및 정격주파수에 규정된 온도상승 한도를 초과하지 않는 상태에서 연속적으로 토할 수 있는 전류의 한도를 말한다.
- 정격차단전류 : 정격전압, 정격주파수 및 규정된 회로조건에서 규정된 표준동작 책무 및 동작상태를 수행할 수 있는 차단전류의 최대한도이며, 교류분실효치(R.M.S)로 표시한다.
- 정격차단용량 : $\sqrt{3} \times \text{정격전압} \times \text{정격차단전류}$ 를 말한다.
명판에 정격차단용량을 표시하여야 할 의무는 없으나 정격차단전류는 반드시 표시하여야 한다.(KSC 4611)

1.1.3 차단기 동작책무

- Momentary Duty
단락고장전류는 초기 1/2cycle 내에서 가장 크므로 차단기의 최대 “Momentary Duty”는 이때의 값을 기준으로 결정된다.
초기 1/2 cycle에서의 고장전류는 발전기, 전동기 및 계통설비 등 모든 단락 전류원에 대해 고려하여야 하며 발전기, 전동기는 차과도리액턴스를 적용 하며 DC분은 M.F를 곱하여 구한다.
- Interrupting Duty
Interrupting Duty는 차단기의 Contactor가 분리되는 시점의 단락 고장전류에 대한것을 결정하는 것으로 릴레이 동작 및 차단기 동작속도가 변하기 때문에 차단기 Contact가 분리되는 시간이 변한다. 차단기의 Contact를 분리하는데는 2~8cycle을 요하며 전류를 차단하는 데는 이보다 더 시간이 걸린다.
그래서 Max. Interrupting Duty는 트립 릴레이가 동작되는 순간에 부담되는 책무이며 Interrupting Duty를 결정키 위한 단락고장 계산시 릴레이가 순시로 동

작함을 전제로 하고 있다.

1.1.4 차단용량기준 (기술기준 42조:과전류 차단기용 퓨즈 등)

- 고압또는 특별고압의 전로에 단락이 생긴 경우에 동작하는 과전류 차단기는 이것을 시설하는 곳을 통과하는 단락전류를 차단하는 능력을 가지는 것이어야 한다.

1.1.5 국내 차단기 정격(예)

구분	정격전압	정격전류	차단용량	내전압	차단시간
L사	24kV	630A 1250A 2000A	12.5kA(520MVA) 25kA(1000MVA)	125kV	3/5Hz
H사	24kV	630A 1250A 2000A	16kA(670MVA) 20kA(830MVA) 25kA(1000MVA)	125kV	5Hz

1.1.6 저압분전반 차단기 용량선정(예)

공급방식	공급전압	차단기 정격전류	정격차단전류
1상	110V	30A 이하	1.5KA
		75A 이하	2.5KA
	220V	30A 이하	1.5KA
		50A 이하	5KA
		75A 이하	5KA
		30A 이하	1.5KA
3상	200V	70A 이하	5KA
		200A 이하	7.5KA
		225A 이하	10KA
		600A 이하	18KA
		30A 이하	2.5KA
		125A 이하	5KA
	380V(440V)	150A 이하	5KA(7.5)
		225A 이하	5KA(10)
		600 이하	14KA

保護器의 차단시험조건(日本例)

(日本例)

種 類	規 格	電流算 定時點	차 단 전 류	短 絡 力 率	* X/R	備 考
交流 차단기 (3 kV 以上)	JEC-181 (1959)	發弧瞬時	對稱遮斷電流 (三相平均)	0.15以下	6.6	최대 차단 전류의 2.5배 (波高值) 三相中 최대인 것 이 투입용량
氣中 차단기 (250~ 600V)	JEC-160 (1964)	1/2 사이클	對稱遮斷電流 (三相平均)	0.3以下 (10 kA 以下) 0.2以下 (10 kA 超過~ 20 kA 以下) 0.15以下 (20 kA 超過)	3.2 4.9 6.6	同上, 단 차단전류 의 크기에 따라서 배수가 2.0~2.3 이 된다.
配線用 차단기 (110~ 550V)	JEM 1071 (1964)	1/2 사이클	直流分을 포함 한全電流實効值 (三相平均) (2,500~ 50,000A)	0.45~0.5 (10 kA 以下) 0.25~0.3 (15 kA 超過 ~20 kA 以下) 0.15~0.2 (20 kA 超過)	2.0~1.7 3.2~3.9 6.6~4.9	各 極에서 1회 이어서 三相交流 로 1회 차단한다. 단 각 극마다의 시 험은 차단용량이 10KA를 초과하 는 것도 10KA로 한다.
配線用 차단기 (110~ 500V)	JIS C 8370 (1970)	1/2 사이클	交流分實効值 (三相平均) (2,500~ 50,000A)	0.1~0.6 規格参照	10~1.3	各 極에서 1회 이 어서 三相交流로 1회 차단 한다.
電力 퓨즈 (3 kV 以上)	JEC-175 (1968)	發弧瞬時 最低1/2사 이클	對稱遮斷電流	0.15以下	6.6	
配線用 퓨즈 (125~ 600V)	JIS C 8352 (1968)	1/2 사이클	交流分實効值 (1,500~ 20,000A)	0.15~0.8 規格参照	6.6~ 0.75	
限流 퓨즈 (500, 600V)	JEM 1293 (1964)	1/2 사이클	회로를 短絡했 을 때에 흐르는 對稱實効電流 (50, 100 kA)	0.15以下	6.6	單相交流電源定格 電壓下에서 차단 한다.

[註] *: 短絡力率 = $\cos\left(\tan^{-1}\frac{X}{R}\right)$ 을 구한 概略值

1.2 케이블 굵기 계산

1.2.1 CV케이블의 연속허용전류

일반적으로 가장 많이 사용되는 케이블이 CV케이블이므로 22.9KV 이하의 CV케이블 허용전류 계산식은 다음과 같다.

- 직매 및 과로포설의 경우

$$I_o = \frac{T_1 - T_2}{nrRth}(A)$$

- 공중 및 암거포설의 경우

$$I_o = K_1 \frac{T_1 - T_2}{nrRth}(A)$$

여기서, CV 케이블의 사용온도는 다음과 같다.

부설방법	공중 · 암거부설	직매부설	관로부설
기저온도 ℃	40	25	25
최고온도 ℃	90		

위의 계산식 및 온도를 기준으로 하여 일반적으로 도표에서 찾는다.

1.2.2 단락시 허용전류

단락시 허용전류란 단락, 지락 발생시 고장발생 시간이 2초 이하로 매우 짧은 시간인 경우 고장전류에 의한 케이블의 발생열은 외부로 방산할 시간이 없어 모두 도체속에 축적되어 절연체에 영향을 미치지 않으면서 도체의 온도상승에 소비되는 것으로 간주하여 다음식에 의해 구할 수 있다.

$$I^2 = \frac{JQ_c A}{a n t} \log e \frac{1/\alpha - 20 + T}{1/\alpha - 20 + T_4}(A)$$

Where, I : 단락시 허용전류 (A)

J : 4.2 (W · sec / cal)

Qc : 도체의 단위체적당의 열용량 (cal /℃ · Cm³)

(동 : 0.81 Al : 0.59)

A : 도체의 단면적 (cm²)

α : 20℃ 에서의 도체저항 온도계수

r_1 : 20℃ 에서의 교류 도체저항 (Ω/cm)

t : 단락전류의 지속시간 (Sec)

T : 단락시의 도체온도 (℃)

T_4 : 단락전의 도체온도 (℃)

케이블의 단락시 최고 허용온도

종 류	최고허용온도 ℃
솔리드, 저가스압 케이블	220
OF 케이블	150
부틸고무 케이블	230
폴리에틸렌 케이블	140
가교폴리에틸렌 케이블	230
비닐케이블	120
천연고무 케이블	150

T_4 : 단락전의 도체온도

CV 케이블인 경우 위식은 다음과 같이 간단히 할수 있다.

J : 4.2

Q_c : 0.81

α : 0.00393

1

r_1 : ———

58 S

T : 230 ℃

T_4 : 90 ℃

$$F = \frac{4.2 \times 0.81 \times S}{0.00393 \times \frac{1}{58 S} \times t} \log e \frac{\frac{1}{0.00393} - 20 + 230}{\frac{1}{0.00393} - 20 + 90} = \frac{S^2}{t} \times 18009$$

$$\therefore S = \frac{\sqrt{t}}{135} \times I$$

위를 다른 케이블에도 적용하면 다음과 같이 개략식으로 나타난다.

종 류	전 선 굵 기
가교폴리에틸렌	$\sqrt{t} / 134 \times I$
부틸고무	$\sqrt{t} / 140 \times I$
에틸크로로프렌고무	$\sqrt{t} / 139 \times I$
폴레에틸렌	$\sqrt{t} / 98 \times I$
비닐	$\sqrt{t} / 96 \times I$
천연고무	$\sqrt{t} / 115 \times I$

1.2.3 CABLE 굵기산출 검토기준

- 케이블 굵기는 상시부하에 의한 연속허용전류, 단락시 허용전류 및 전압강하를 고려한 전선굵기의 검토결과 모두 허용범위 이내에 들어야 한다.
- 단락시 케이블 허용 굵기는 Momentary Fault Current를 기준으로 계산한다.

1.3 접지선굵기 계산

1.3.1 접지선

접지선에 전류가 흐르면 줄열이 발생하고 절연피복이 타거나 주위의 가연물에 위험을 미치거나, 최악의 경우 접지선 자체가 용단될 수도 있다. 전로로서의 기능을 만족하기 위해서는 충분한 전류용량, 즉 어느 정도의 도체 단면적이 필요하다.

도체 단면적은 전류, 통전시간, 온도, 재료의 특성값 등을 이용하여 다음과 같은 IEEE 표준식을 이용하여 구한다.

$$A = I \sqrt{\frac{\frac{t_c \alpha_r \rho_r \times 10^4}{TCAP}}{1_n \left\{ 1 + \left(\frac{T_m - T_a}{K_0 + T_a} \right) \right\}}} \quad (3.1)$$

단, I : 접지선에 흐르는 전류[kA]

A : 접지선의 단면적 [mm²]

T_m : 최대 허용온도[°C]

T_a : 주위온도 [°C]

T_r : 물리정수의 기준온도 [°C]

α_0 : 0[°C] 일 때 도체의 열저항률

α_r : T_r일 때 도체의 열저항률

ρ_r : T_r일 때 도체의 열저항률 [$\mu \Omega / \text{cm}^2$]

K₀ : 1/ α_0

t_c : 통전시간[S]

TCAP : 열용량 계수 [J/cm³ · °C]

재료의 물리정수는 표 3-1과 같다. 또, Onderdonk식은 식(3.1)의 기초가 되는 것으로 다음과 같이 나타낸다.

$$I = A \sqrt{\left(\frac{1}{33_s} \right) 1_n \left(1 + \frac{T_m - T_a}{234 + T_a} \right)}$$

단, I : 전류[A]

A : 동접지선 단면적 [cmils]

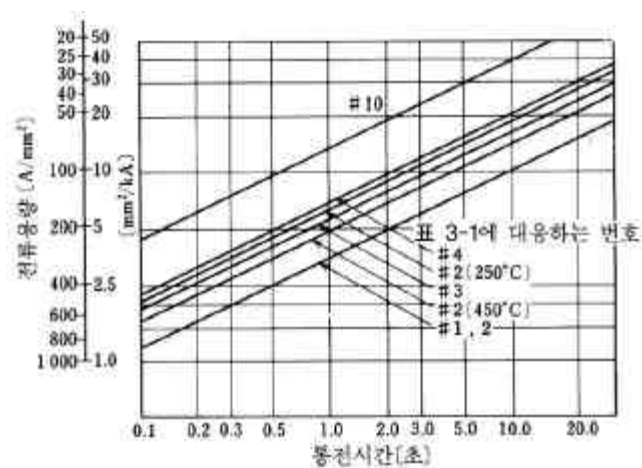
s : 통전시간[s]

식(3.1)을 근거로, 각종재료의 물리정수를 대입하여 통전시간과 접지선 치수의 관계를 그림 3-1에 표시하였다.

우리나라에서는 접지선(등선)의 굵기를 결정하는데, 일반적으로 다음식을 이용하고 있다.

재료의 물리정수²⁾

전선재료	그림 3-1의 대응번호	도전률 (%)	α_r (at 20℃)	K_0 (1/ α_0) (at 0℃)	용융온도 (℃)	ρ_r ($\mu\Omega/\text{cm}^2$) (at 20℃)	TCAP ($\text{J}/\text{cm}^2\cdot\text{C}$)
연 동 선	1	100.0	0.00393	234	1083	1.7241	3.422
경 동 선	2	97.0	0.00381	242	1084	1.7774	3.422
동 복 강 선	3	40.0	0.00378	245	1084/1300	4.397	3.846
동 복 강 선	4	30.0	0.00378	245	1084/1300	5.862	3.846
알루미늄선	5	61.0	0.00403	228	657	2.862	2.556
내식알루미늄 #5005	6	53.5	0.00353	263	660	3.2226	2.598
내식알루미늄 #6201	7	52.5	0.00347	268	660	3.2840	2.598
알루미늄복강선	8	20.3	0.00360	258	660/1300	8.4805	2.670
아연도금강선	9	8.5	0.00320	293	419/1300	20.1	3.931
스테인리스강 #304	10	2.4	0.00130	749	1400	72.0	4.032



$$A = I \sqrt{\frac{t_c \times 8 \times 10^{-3}}{T_m - T_a}} \quad (3.2)$$

단, A : 접지선 단면적 [mm²]

I : 접지선에 흐르는 전류[A]

T_m : 최대 허용온도[℃]

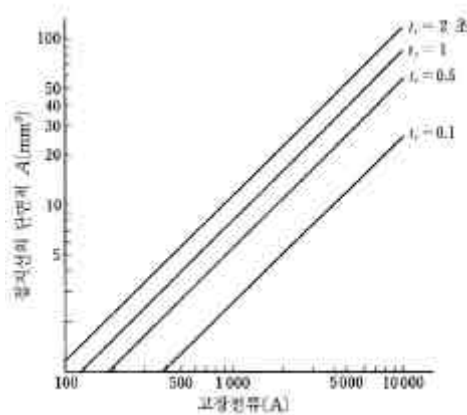
T_a : 지온도 [℃]

t_c : 통전시간[S]

식(3.2)를 이용하여 계산할 경우는 전원측 과전류차단기의 동작특성과 관계되고, 다음과 같은 조건이 필요하다.

- (1) 접지선에 흐르는 고장전류는 전원측 과전류차단기의 정격전류의 20배로 한다.
- (2) 과전류차단기는 정격전류의 20배 전류에서도 0.1초 이하에서 동작한다.
- (3) 고장전류가 흐를 때 접지선 주위온도는 $30[^\circ\text{C}]$ 로 한다.
- (4) 고장전류가 흐를 때 접지선 최대 허용온도 T_m 은 $150[^\circ\text{C}]$ 로 한다.

따라서, 최대허용온도 $T_m=150[^\circ\text{C}]$, 주위온도 $T_a=30[^\circ\text{C}]$ 를 식(3.2)에 대입하고, 통전시간을 파라미터로 하여 전류와 단면적 관계를 보면 그림 3-2와 같다.



설비기기에서 접지극까지의 접지선은 일반적으로 600[V] 비닐 절연전선(IV)이 쓰인다. IV선을 접지선으로 사용할 때는 녹색이어야 하며 최고 허용온도는 $60[^\circ\text{C}]$ 이다. 기타 접지선으로는 600[V] 비닐절연 캡타이어 케이블(VCT), 이중 비닐 절연전선 등이 이용되고 있다.

1.4 변성기 강도 계산

1.4.1 열적강도, 기계적 강도 관련 기준

〈배전규정 125-2 기계기구의 열적강도〉

1. 전선로에 시설하는 기계기구는 통상의 사용상태에서 그 기계기구에서 생기는 열에 견디는 것을 사용하여야 한다. (「기술기준」 제37조)

2. 상기 1항의 기계기구는 단시간 단락상태에서도 그 기계기구에서 생기는 열에 견디는 것을 사용하여야 한다.

[해 설]

본조는 전선로에 시설하는 기계기구가 통상의 사용상태 및 단시간 단락상태에서 기계기구에서 생기는 열에 의하여 손상 파괴되어서는 아니 된다는 것을 규정하고 있다. 통상의 사용상태에서 전선로에 시설하는 기계기구중 변압기류는 부하의 특성에 의하여 여러 가지의 사용상태(이용율)를 고려할 수 있으나, 일반적으로 그 기계기구의 정하여진 온도상승시점 등에 합격한 것으로서, 그 정격전류가 전선로의 부하전류(실효치)이상이면 된다.

또한, 이들 기계기구의 수명은 온도상승에 크게 좌우되는 것이므로 이 점을 고려하여 여유를 두고 사용하는 것이 바람직하다.

단시간 단락상태에 대하여서는 일반적으로 각 기계기구가 KS 등에 정하여진 단시간 강도시험 등에 합격한 것으로, 그 정격 단시간전류치가 전선로의 단락용량(대칭분실효치)이상이면 된다.

기계기구의 선정에 있어서는 연속통전용량을 정하는 정격전류 이외에 단시간 전류치에 대하여도 고려할 필요가 있다.

〈(기술기준 제57조) 발전기 등의 기계적 강도〉

① 발전기·변압기·조상기·모선 또는 이를 지지하는 애자는 단락전류에 의하여 생기는 기계적 충격에 견디는 것이어야 한다.

② 수차 또는 풍차에 접속하는 발전기의 회전하는 부분은 부하를 차단한 경우에 일어나는 속도에 대하여 증기터빈·가스터빈 또는 내연기관에 접속하는 발전기의 회전하는 부분은 비상조속기가 동작하여 달하는 속도에 대하여 견디는 것이어야 한다.

1.4.2 정격 내전류

전력회로에 단락사고가 발생하면 그 회로에 접속된 변류기의 1차 권선에도 큰 고장전류가 흐르게 되어 그 과전류에 의하여 권선의 온도가 상승하여 권선이 용단되거나, 강력한 전자력에 의하여 권선이 변형될 경우가 있다.

따라서 변류기는 이러한 사고에 대하여 열적, 기계적으로 견딜 필요가 있게 되는데 이와같이 고장전류가 변류기 1차권선에 흐를 경우 그 변류기의 정격 1차전류값의 몇배의 고장전류까지 견딜 수 있는가를 정한 것을 변류기의 과전류강도라고 하며 과전류강도는 열적과전류 강도와 기계적 과전류 강도로 나누어 생각하여야 한다.

시판되는 변류기에는 정격내전류에 대한 사항은 정격과전류 강도로 표시한 것과 정격과전류로 표시하는 것이 있다.

변류기의 정격과전류 부담

정격 과전류 강도(★)	보증하는 과전류
40	정격 1차 전류의 40배
75	정격 1차 전류의 75배
150	정격 1차 전류의 150배
300	정격 1차 전류의 300배

주 (★) 정격과전류강도가 300을 초과하는 경우는 특수품으로 한다.

변류기의 정격 과전류

최고전압kV	정 격 과 전 류 kA (*)							
3.45	1.6	4	8	16	25	40		
7.2	2	4	8	12.5	20	25	31.5	40
11.5	25	40	50	80				
13.8, 17.25, 25.8	12.5	20	25	40	50	63		
34.5	12.5	16	25	31.5	40			
72.5	12.5	20	25	31.5				

주 (*) 정격 과전류를 정격 과전류 강도로 환산한 값이 300을 초과하는 경우는 특수품으로 한다.

(*) 72.5kV 초과분은 기재 생략

1) 열적 과전류 강도

열적과전류 강도는 KS 규격상으로 표준지속시간이 1.0초로 되어있으나 실제로 과전류가 흐르는 시간은 경우에 따라 다르게 된다.

따라서 임의의 지속시간에 대한 열적과전류 강도는 다음식으로 계산한다.

$$S = \frac{S_n}{\sqrt{t}} \text{ [KA]} \quad (3. 39)$$

여기서 S : 통전시간 t초에 대한 열적과전류강도

S_n : 정격과전류강도 (KA)

t : 통전시간 (sec)

즉, 정격과전류 강도 2(KA)라 표시된 변류기를 고장전류가 흐를 경우 0.2초 이내에 회로를 완전히 차단하는 차단기 회로에 사용할 경우에는

$$S = \frac{S_n}{\sqrt{t}} = \frac{2}{\sqrt{0.2}} = 4.5(\text{KA})$$

가 되므로 이 경우에는 열적과전류 강도가 4.5(KA)로 증가하게 된다.

2) 기계적 과전류 강도

기계적 과전류 강도는 고장전류의 최대진폭에 견디어야 하고 최악의 경우에는 고장전류(교류실효치)의 $2\sqrt{2}$ 배의 진폭에 견디어야 하지만 KS규격상으로 직류분의 감쇄를 고려하여 정격과전류 강도에 해당하는 1차 전류(교류실효치)의 2.5배에 상당하는 초기최대 순시값의 과전류에 견디면 충분한 것으로 되어 있다.

1.4.3 한국전기안전공사 검사기준 개정

1) MOF(계기용변성기)

○MOF의 과전류강도는 기기 설치점에서의 단락전류에 의하여 계산 적용되, 22.9kV급으로서 60A이하의 MOF 최소과전류강도는 한전규격에 의한 75배로 하고 계산값이 75배 이상인 경우는 150배를 적용하며, MOF 전단에 한류형 전력퓨즈를 설치하였을 때는 그 퓨즈로 제한되는 단락전류를 기준으로 과전류강도를 계산하여 상기와 같이 적용한다.

[※현재 설치되고 있는 전력퓨즈(PF)는 대부분 비한류형(방출형)퓨즈임]

○다만, 수요자 또는 설계자의 요구에 의하여 MOF 또는 CT과전류강도를 150배 이상 요구한 경우는 그 값을 적용함.

2) CT(변류기)

○CT의 과전류강도는 기기 설치점에서의 단락전류에 의하여 계산 적용함.

3) 개발시험 방법

○MOF(계기용변성기) : 중전기기기시험기준 및 방법에 관한 요령 [상공부 고시 제92-16호 ('92.5.4)]의 대상 제품에 MOF를 포함시켜 개발시험방법을 정하도록 동 고시 개정을 요청.

○CT(변류기) : 중전기기기 시험기준 및 방법에 관한 요령에 의함.

4) 시행시기 : '98.1.1 공사계획신고(인가)분 사용전검사시부터 시행

5) 기타사항 : MOF 개발시험방법은 정부 결정에따라 추후통보 예정임

1.4.5 일본에서의 CT설정의 예

전압			단 락 용 량 (MVA)										
			50	100	150	250	350	500	750	1,000	1,500	2,500	3,500
3.3kV	차단 전류(kA)		8.75	17.5	26.2	43.8	61.0	87.5					
	과강전도류	40배	300A	500	750	1,200	2,000	3,000					
		75	150	300	400	600	1,000	1,200					
		150	75	150	200	300	500	600					
		300	30	75	100	150	300	300					
6.6kV	차단 전류(kA)		4.38	8.75	13.2	21.9	30.7	43.8	65.7				
	과강전도류	40	150A	300	400	600	1,000	1,200	2,000				
		75	75	150	200	300	500	600	1,000				
		150	30	75	100	150	300	300	500				
		300	15	30	50	75	150	150	300				
22kV	차단 전류(kA)					6.6	9.2	13.2	19.7	26.3			
	과강전도류	40				200A	300	400	500	750			
		75				100	150	200	300	400			
		150				50	75	100	150	200			
		300				30	40	50	75	100			

1.4.6 외국의 CT 카탈로그의 예

Current transformer to DIN 42600		Compact indoor-type current transformer					
							
Service voltage	kV	12	24	36	12	24	
Rated power frequency withstand voltage, 1 min	kV	35	55	75	35	55	
Rated withstand impulse voltage 12/50 s (full wave)	kV	75	125	170	75	125	
Rated frequency	Hz	50/60 For other frequencies please enquire			50/60 For other frequencies please enquire		
Rated primary current	A	5-1500	5-1500	5-1500	5-2000	5-1200	
Reconnectable for	A	2×600	2×600	2×600	2×600	2×600	
Secondary current	A	5 (I)	5 (I)	5 (I)	5 (I)	5 (I)	
Short-time thermal current rating, 1 s	kA	max 150	max 150	max 150	max 60	max 60	
Mechanical current rating (2.5×thermal current rating)	kA	max 150	max 150	max 150	max 120	max 100	
Number of cores		3	3	3	3	3	

다. 과전류정수

변류기의 1차 권선에 흐르는 전류를 점점 증가시킬 경우 어떤 한도를 초과하면 변류기의 자속밀도가 포화되어 여자전류가 급격하게 증가하게 되는데 이 때에는 비오차가 마이너스쪽으로 증가하고 결국에는 변류기의 2차 전류는 흐르지 않게된다.

이러한 경향은 2차부담이 커질수록 심하게 나타난다.

정격과전류 정수는 변류기의 정격부담, 정격주파수 하에서의 변성비오차가 -10%가 될 때의 1차 전류값과 정격1차 전류값의 비를 n 으로 표시하는데 $n > 5$, $n > 10$, $n > 20$ 을 표준으로 한다.

정격과전류정수는 변류기의 과전류영역에서의 특징을 나타내는 것이므로 이 값이 크다고 해서 변류기의 정격전류 영역에서도 특성이 좋다는 것은 아니다.

따라서 전력계통에 고장전류가 흘렀을 때 보호할 수 있는 범위에서 정격과전류 정수의 값이 가급적 적은 것을 선택하는 것이 변류기의 1차 권선에 큰 고장전류가 흐를 때 변류기의 2차권선에 연결되어있는 계기, 보호계전기 등으로 유입전류가 적어져서 유리하다.

전력용 변압기, 발전기 등을 차동 보호하는 변류기인 경우에는 그 2조의 변류기가 과전류 영역에서의 오차가 다르게 되면 보호하고자 하는 기기가 과부하로 될 경우 오차 전류의 차에 의하여 차동계전기가 필요없이 동작하게 되므로 주의하여야 한다.

정격과전류 정수는 변류기가 정격부담 상태일 때의 값이므로 변류기의 2차 부하 값이 변화하면 과전류 정수의 값도 변한다.

따라서 사용하는 2차부담을 적당히 조절하므로서 사용에 필요한 과전류 정수를 3조절하여 과전류정수 n' 는 다음식으로 한다.

$$n' = n \times \frac{\text{변류기의정격부담}(VA) + \text{변류기의정격내부손실}(VA)}{\text{류기의사용부담}(VA) + \text{변류기의내부손실}(VA)} \quad (3.41)$$

여기서 n 은 변류기의 정격과전류 정수이며 변류기의 내부손실은 1차 전류의 값과 사용부담에 따라서도 달라진다.

1.5 P.F, C.O.S 선정

구 분	P. F	C. O. S
정격전압	23kV	25kV
정격전류	200A	100A
기준충격절연강도(BIL)	150kV	125kV
정격차단전류(비대칭)	20,000A	10,000A
정격차단전류(대칭)	12,500A	7,100A
연면거리	423mm	279mm
용단특성곡선	같음	

1.6 기타 단락강도

주요 기종의 단락강도*14)

기 재	기계적 강도	열 적 강 도
변 압 기 JEC 204-1978	단락전류(우한의 I_s)의 최대순시값 ($X/R \geq 14$ 일 때 2.55 배)	$I_s = \frac{100}{Z_r + Z_s} I_n$ I_s : 단락 전류(교류분 실효치) [A] I_n : 탭 전류(교류분 실효치) [A] Z_r : 그 탭에 있어서 변압기의 %Z Z_s : 계통 또는 영구적으로 접속되는 기기 의 %Z 다만, I_s 가 I_n 의 25배를 넘을 경우에는 $\text{단락 시간} = 2 \times \left(\frac{\text{탭 전류} \times 25}{\text{단락전류}} \right)^2 [\text{s}]$
변 류 기 JEC 1201-1985	정격 내전류와 1차전류의 2.5배에 상 당하는 초기 최대 순시치	(1) 관전류 강도 40, 75, 150, 300 (1차 전류의 배수), 1초간 (2) 정격 관전류(표 1·15)의 값, 1초간
금속 폐쇄형 스위치 기 어 및 컨트롤 기어 JEM 1425(1990)	정격 단시간 내전류의 2.5배 (과고치)	(주의로에 대해서) 1초간 (3.3kV용 및 6.6kV용에 대해서 각각 표 준치가 있다.)
고압 롬비네이션 스타터 JEM 1225(1986)	규격의 표준치에서 보아 열적 강도에 상당하는 교류분 실효치의 2.5배(과 고치)	주모선에 대해서 0.5초간
컨트롤 센터 JEM 1195(1983)	5kA이하: 1.5배(과고치) 85kA초과: 2.3배(과고치) (6단계가 있다.)	수평 모선 및 수직 모선에 대해서 5~ 100kA (14단계가 있다.) 대칭분 실효치, 0.5초간
저압 버스덕트 JIS C 8364(1979)	단락 발생 후 1/2사이클에 있어서의 0.1초간 정격 전류에 따라 시험 전류가	직류분을 포함하는 전전류의 실효치, 약 정해져 있다.
단 로 기 JEC 196-1977	정격 단시간 전류의 2.5배 과고치 (36상 중 최대)	표 1·15의 값, 2초간
차 단 기 JEC 2300-1985	정격 차단 전류의 2.5배(과고치)	정격 차단 전류, 2초간
기종 차단기 JEC 160-1978	투입전류 20kA 이하: 2배(과고치) 100kA 초과: 2.5배(과고치) (5단계가 있다.)	정격 차단 전류, 1초간 다만, 직렬 과전 류 트림장치에 의하여 정해지는 최장시 간
고압 교류 전자 접촉기 JEM 1167(1982)	단락 차단 전류의 2배 이상의 과고치	단락 차단 전류, 0.5초 이상

(出典: (社)電氣学会「新版 工場配電」)

1.7 계통구성

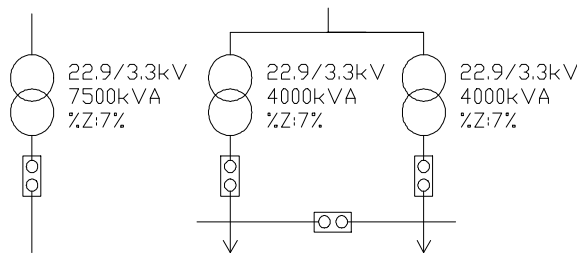
1.7.1 변압기 Bank 구성

변압기 Bank 구성 예(1)

※ 빌딩용 특고 수전설비 Bank수

<1. Bank>

<2. Bank>



※ 빌딩용 특고 수전설비 Bank수

용 량	Bank
1500 kVA 미만	1 Bank
1500~3000kVA	1~2 Bank
3000kVA 이상	2 Bank 이상

변압기 Bank 구성 예(2)

구 분	1 Bank	2 Bank
차단용량	$I_s = \frac{100}{7} \times \frac{7500}{\sqrt{3} \times 3.3} = 19\text{kA}$ $\Rightarrow 31.5\text{kA}$	$I_s = \frac{100}{7} \times \frac{4000}{\sqrt{3} \times 3.3} = 10\text{kA}$ $\Rightarrow 16\text{kV}$
케이블 굵기 (단시간 정격)	$s = \frac{\sqrt{0.5}}{135} \times 19\text{kA} \times 1.6 = 160$ $\Rightarrow 200\text{mm}^2$	$s = \frac{\sqrt{0.5}}{135} \times 10\text{kA} \times 1.6 = 84$ $\Rightarrow 100 \text{ mm}^2$
변성기 과전류 강도	31.5kA	16kA
설치비, 면적	유리	다소불리
운전유연성	불리	유리

1.7.2 변압기 강압방식

방 식		특 징
직강압방식 (1Step)	22.9kV ↓ 저압	● 설비비가 경제적 ● 설치면적의 축소 ● 전력계통의 융통성 미흡 및 운용에 불편함 ● 소규모 수용가에 적용 ● 단락전류가 커서 차단용량 증가, 모선변성기 단락강도 증가 및 사고파급의 추려가 있다(#1) ● 고조파 발생부하 사용시 콘덴서 설치 곤란
다단강하방식 (2 Step)	154kV ↓ 22.9kV ↓ 고압 ↓ 저압	● 설비비가 증대 ● 설치면적이 크다. ● 적용 ● 단락사고 전력계통의 융통성 및 운용에 편리 ● 대규모의 수용가에 발생시 단락전류가 적다.

1.8 유효접지 운용

1.8.1 접지계수

1선지락 사고가 발생하였을 경우에 고장점에서의 건정상 대지전압이 달할 수 있는 최고의 실효치를 사고제거후의 선간전압으로 나누어 %로 표시한값을 접지계수라 한다.

1.8.2 유효접지계 (Effective Grounding)

1선자락시에 어느점에서든지 영상임피던스 대 정상임피던스의 비가 $R_0/X_1 \leq 1$ $X_0/X_1 \leq 3$ 범위내에 유지되고 1선지락시의 건전상의 전압상승이 계통선간 전압의 75%(80%)를 초과하지 않는 접지계를 유효접지계라 하며 고압이상의 직접접지계통을 유효접지계라 한다.

저압을 직접접지를 하더라도 비유효 접지계에 해당된다.

1) $R_0/X_1 \leq 1$ 및 $X_0/X_1 \leq 3$

2) 접지계수가 1,3 또는 $1.4(\sqrt{3} \times 0.8)$ 이하의 계통

<JEC-217 : 1984 P.13>

1.8.3 1선지락시 지락전압

- 유효접지계

1선지락시 (a상) 건전지 전압

$$V_b = \frac{Z_0(a^2 - 1) + Z_z(a^2 - a)}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \cdot E_a$$

$Z_0 \doteq Z_1 \doteq Z_2$ 라 하면

$$V_b = \frac{Z(a^2 - 1) + Z(a^2 - a)}{3Z}$$

$$= \frac{1}{3}(2a^2 - a - 1) \cdot E_a$$

$$= a^2 E_a$$

$$= E_b$$

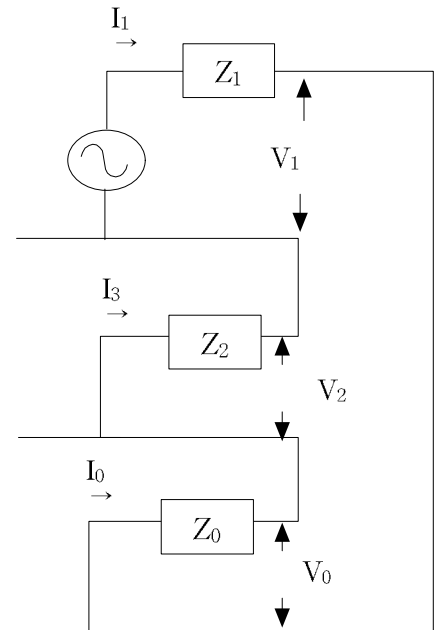
실제로는 1.3~1.4E 정도 된다.

- 비유효접지계

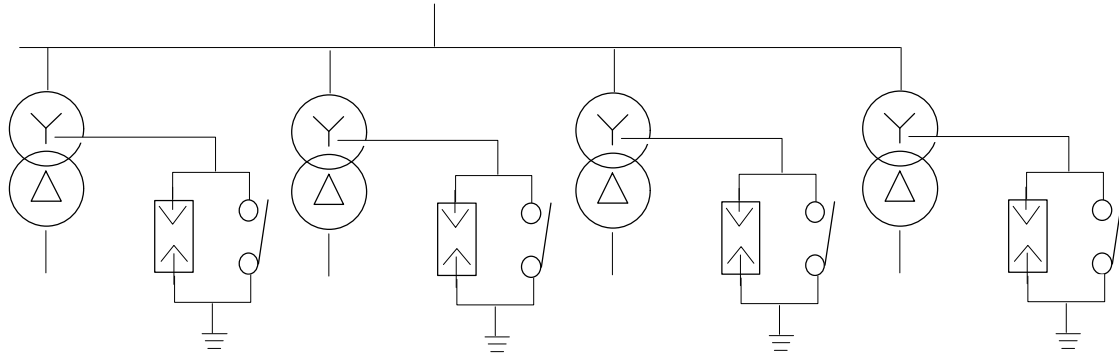
$Z_0 \gg Z_1, Z_2$ 라 하면

$$V_b = (a^2 - 1) \cdot E_a$$

$$= \sqrt{3} E_a$$



1.8.4 유효접지 검토예



중성점 접지상태	정상 임피던스(%) (FOR 1 CYCLE)	영상 임피던스(%) (FOR 1 CYCLE)	154KV 1선지락 전류(KV) (FOR 3 CYCLE)	1선지락시 건전상 전위(KV)
FLOATING		1.3442+j8.0681	8.8	1.29E
1대 접지	0.325+J2.2701	0.6526+j5.4077	11.2	1.19E
2대 접지		0.3269+j2.2354	12.5	1.0E
5대 접지		0.2353+j2.8333	15.1	1.06E

154KV 변압기 1차 중성점을 FLOATING 하는 경우 태 $\leq 3X_1$ 의 조건 즉, 유효접지조건을 만족하지 못한다. 1대 접지시 $5.4077 \leq 3 \times 2.2701$ 이므로 유효접지조건에 부합되며 고장전류 11.2KV, 1선지락시 건전상 전위상승 1.19E 정도이므로 1대 이상 접지하는 것이 바람직 하다. 여러 대를 접지하는 것은 고장전류가 커지므로 바람직하지 않다.

2. 단락전류 대책

2.1 단락전류에 의한 영향

수용가의 차단설비는 주변 여건의 변화로 당초 설계했던 단락전류가 변해 차단용량이 부족한 경우가 발생한다. 단락전류에 비해 차단용량이 부족한 경우 사고점 파괴는 물론 2차적 재해를 일으켜 중대한 영향을 미치게 된다. 일본 JEAG(전기협회 기술지침)에 의하면 차단기 차단용량의 1배정도의 단락전류가 흐르면 기능상실, 2배 정도가 흐르면 파괴에 이르게 된다고 정의되어 있다.

2.2 단락전류 억제대책

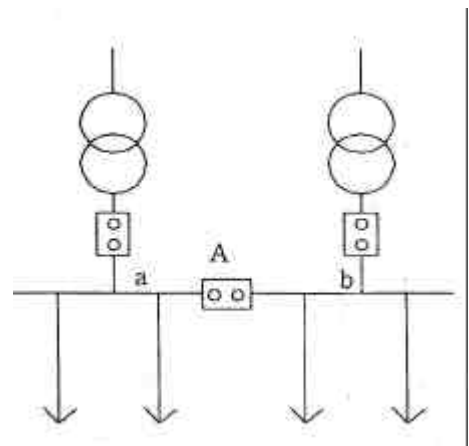
단락전류에 비해 차단용량이 부족한 경우 충분한 차단용량을 갖는 차단기로 교체하는 것이 바람직하지만 비용, 공기 및 적정용량이 없는 경우 등 어려운 것이 현실이다. 따라서 단락전류를 억제하는 방법에 대하여 설명하고자 한다.

2.2.1 계통 분리 방법

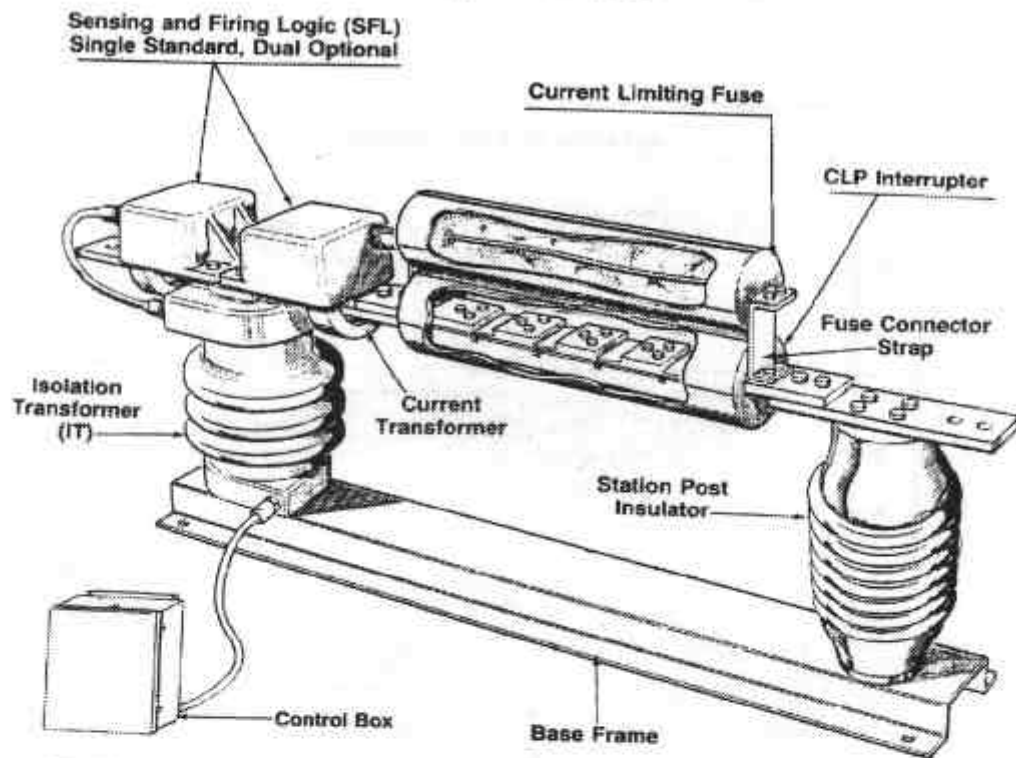
이 방법은 그림과 같이 수전변압기가 2대이상이거나 발전설비와 병렬운전하는 경우로서 부하측의 차단전류가 커진 경우의 경제적인 운전을 위해 채택한다.

즉, a,b점 단락시 A의 차단기를 신속히 개방함으로써 전원측의 임피던스를 크게해 단락전류를 억제한다.

이 방식은 전원중 큰쪽의 용량에 대응한 차단용량만 낮추면 되므로 설비비가 싼 장점이 있으나 연결차단기 동작, 계전기오 동작협조, 인터록 등을 위해 회로가 복잡한 단점도 있다. 이방식의 문제점은 계통분리가 끝날때까지 과대한 단락전류가 흘러 열적·기계적으로 소손될 우려가 있으므로 이에 대한 고려가 필요하다.

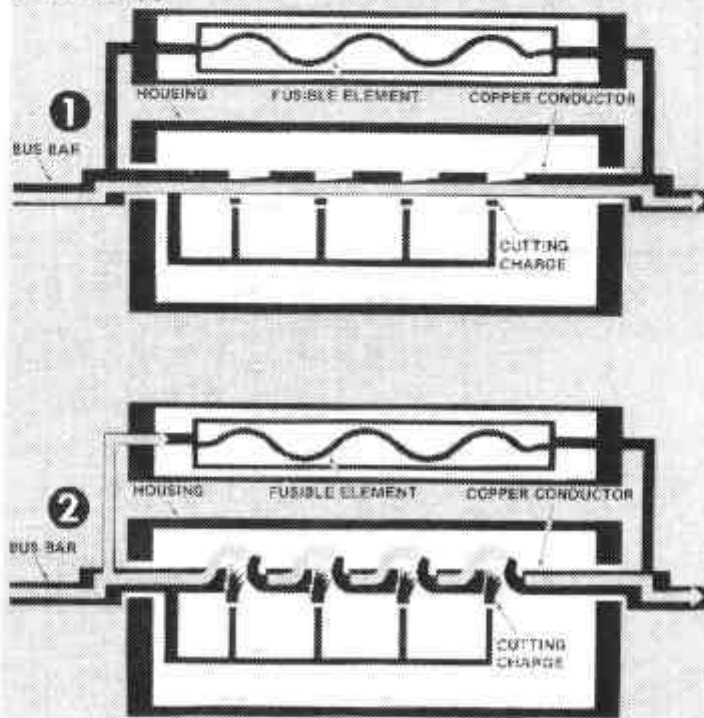


CLIP (Current Limit Protector), Is-Limiter

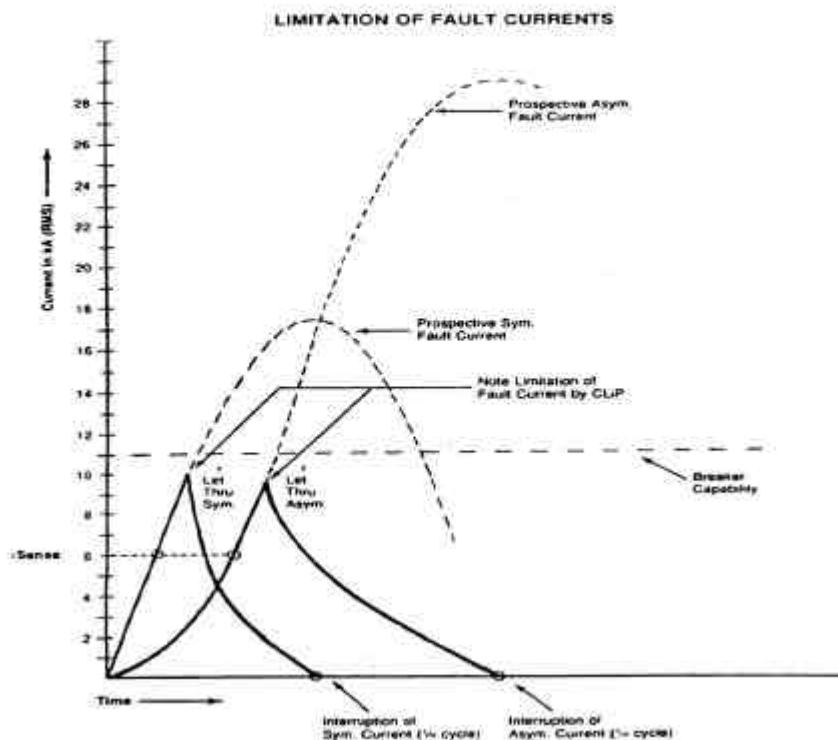


CLIP 동작원리

OPERATION SEQUENCE Refer to copy

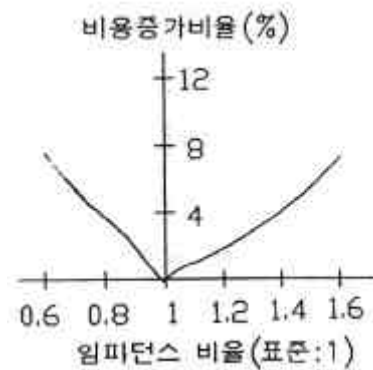


고장전류 한류 및 차단시간



2.2.2 변압기의 임피던스 제어

계통의 단락전류를 계산하여 차단기의 차단 용량을 선정하게 되는데 차량용량 증가가 어려운 경우가 있다. 즉, 차단용량이 올라가면 점유면적 증가나 비용증가시 외에 차단기의 종류변경을 하거나 표준품을 쉽게 구하지 못하는 경우가 있다. 이런 경우 변압기의 임피던스를 다소 크게해 줌으로써 변압기 이하 계통의 단락전류를 억제할 수 있다. 이 방식은 그림과 같은 비용이 상당히 증가하므로 계통의 전력기기와 연계 종합판단을 해야한다.



※ 변압기 임피던스 변경(예)

<변압기 임피던스 조정시 고장전류 크기>

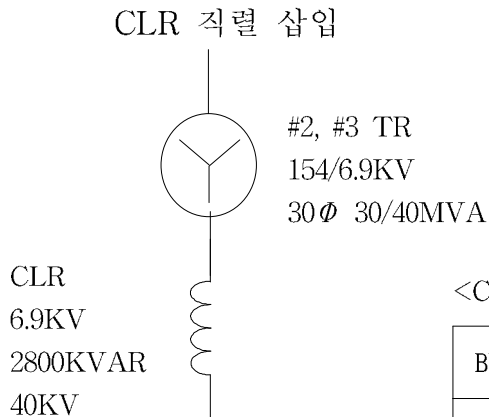
구 분	변압기 정격	%Z	고장전류(KA)
계 획	154/6.6KV 30/40MVA	10%	22.5
임피던스 조정	"	12%	21.5

2.2.3 한류리액터 사용

기설 전기설비의 차단용량부족시 차단기를 교체하는 것이 어려운 경우가 있다. 이런 경우에 한류리액터를 추가 설비함으로써 단락전류를 억제할 수 있다. 이 방식은 한류리액터 설치 면적 및 운전소실의 증가 이외이 전압 변동율이 커지는 문제(전동기 수명, 전동기 기동여부 등)가 있다.

이 방식을 병렬운전의 Tie 회로에 삽입하여 사용하는 경우가 많다.

※ 한류 리액터 설치(예)



<CLR 삽입시 고장전류>

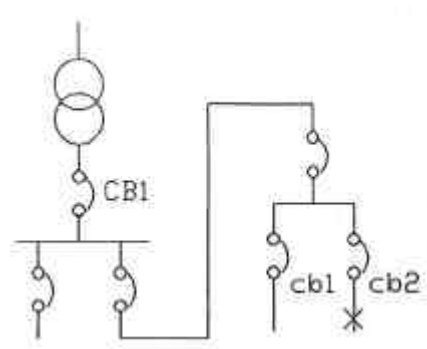
BUS 명	전압(KV)	삽입전	삽입후	저감효과
52R1	154	19.5	19.5	-
52S2	6.6	22.5	16.9	▽ 8.6
52S3	6.6	27.0	18.5	▽ 8.5

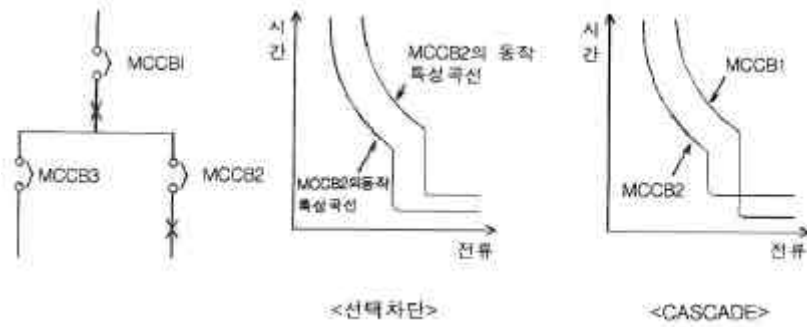
2.2.4 캐스케이드 보호방식

이 방식은 저압 분기회로 차단기 설치점에 서의 단락용량이 분기회로 차단기의 차단용량을 초과할 때 주회로 차단기에 의해 후비보호를 행하고자 하는 것이다.

CB1 차단기는 CB2 차단기에 비해 개극시간이 짧고 아크전압이 높은 것이 요구되는데 차단시간의 협조가 필요하기 때문에 저압의

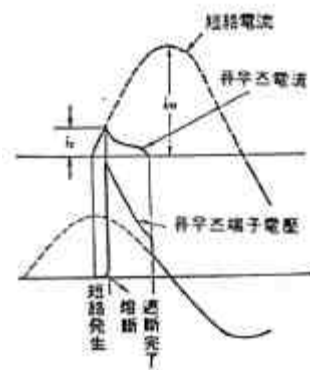
것으로 제조업자가 권하는 것에 한하여 사용한다. 기술기준 제42조에 의하면 저압차단기로서 10,000A 이상의 것에 한하여 사용하도록 하고 있다.



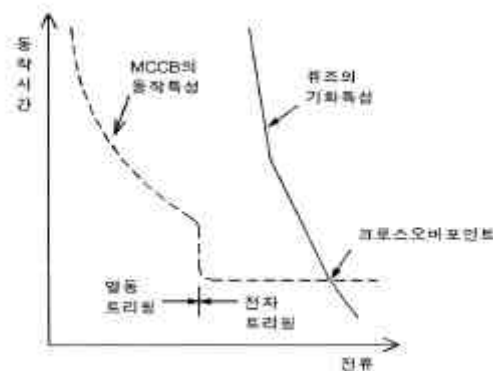


2.2.5 한류 퓨즈에 의한 백업 차단방식

전력퓨즈는 그림과 같이 한류차단 특성을 가지고 있다. 계통에 단락사고가 발생하면 전력퓨즈의 고속 한류차단 성능을 이용하여 단락전류를 제한할 수 있다. 이 방식의 고속차단 효과에 의하여 열적 강도는 1/30, 기계적 강도는 1/50 정도로 줄어 직렬 기기의 경제적 설계가 가능한 이점이 있다.



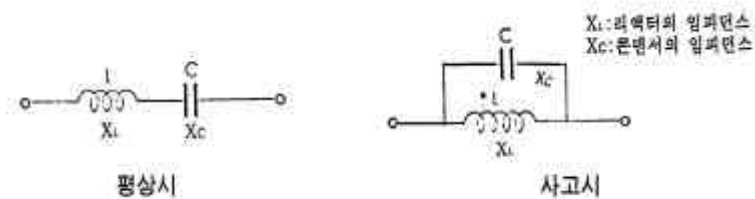
전력퓨즈와 MCCB와의 협조



<전력퓨즈와 MCCB와의 협조>

2.2.6 계통 연계기 사용

계통 연계기는 LC회로의 조합인데 그림과 같이 평상시에는 LC직렬 공진 회로를 만들어 조류를 자유로이 통과시키다가 사고시는 다이리스터 스위칭 회로로 높은 임피던스 회로를 만들어 단락전류의 통과를 억제한다.



계통 연계기를 사용하면 무효전력도 자유로이 통과되므로 한류리액터처럼 전압변동의 문제가 없을뿐더러 정전범위 국한, 계통구성 강화 등의 장점이 있다. 연계기의 설치장소는 전력회사 수전연계점, 급전피더 모선상호간, 변압기 2차측 등에 설치한다.

