

# Question & Answer

**Q** 3.3kV 50kVA인 기존의 콘덴서를 3.6kV로 변경설치 할 때 콘덴서의 용량은?

**A** 콘덴서의 정격전압만 상향 적용하고 계통에 연결되는 운전전압은 3.3[kV]이므로 캐패시터 C[μF]는 동일하게 적용함이 바람직합니다.

답변자 : 박용덕 기술전문위원  
[ 문의 : 기술지원팀(02)875-6524 ]

다음의 직렬 리액터 관련 기술내용을 검토하여 업무 참조 바랍니다.

역률 개선용으로 캐패시터(Capacitor)를 사용할 때, 과도한 돌입전류에 의하여 콘덴서가 스트레스를 받게 되므로 이를 억제하기 위하여 직렬 리액터를 사용한다.

또, 캐패시터의 회로 투입에 의해 고조파가 전원측 리액턴스 이외에 캐패시터 리액턴스의 L-C 공진에 의해 확대되는 현상이 발생되는데, 이것을 방지하려면 회로를 유도성으로 하면 되므로 캐패시터에 직렬 리액터를 삽입하여 캐패시터의 안전운전은 물론 부하에 대한 고조파의 악영향을 제거하여 준다.

### 직렬 리액터(Reactor) 용량 결정

직렬 리액터는 고조파 성분에 따라 용량을 선정하여야 한다. 보통 유도성 일반 부하에는 6%, 변환기, 아크로 등에서는 8~15%까지 적용한다.

#### ① 제5고조파에 대하여 공진하는 L, C의 값은

$$5\omega L > \frac{1}{5\omega C}$$

$$\omega L > \frac{1}{5^2} \cdot \frac{1}{\omega C} = 0.04 \cdot \frac{1}{\omega C}$$

$$\text{즉, } X_L > \frac{X_C}{5^2} = 0.04X_C$$

여기서,  $X_L$  = 직렬 리액터의 임피던스

$X_C$  = 콘덴서의 임피던스

위의 식에서와 같이 직렬 리액터의 용량은 캐패시터 용량의 4%이면 되지만, 만약의 경우 콘덴서 회로가 용량성이 되는 것에 대한 안전율을 고려하여 보통 콘덴서 용량의 6%로 한다.

#### ② 제 3고조파 발생설비의 직렬 리액터 선정

$$X_L > \frac{X_C}{3^2} = 0.11X_C$$

이때는 보통 13% 정도로 선택한다.

#### ③ 직렬 리액터 용량

예를 들어 6%의 직렬 리액터는 캐패시터 용량의 6%를 곱하면 직렬 리액터 용량이 산출되며, 리액터의 정격전압은

$$\text{회로전압} \times \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{\text{직렬리액터용량}}{\text{콘덴서용량}}$$

로 계산할 수 있다.

직렬 리액터 6%인 경우의 3상 직렬 리액터의 정격 전압은 다음과 같다.

# Question & Answer

표 1. 3상 직렬 리액터의 정격전압

회로전압	정격전압
3,300V	114V
6,600V	229V
11,000V	381V
22,000V	762V

### 직렬 리액터 삽입시 주의사항



그림1. 직렬 리액터가 없는 경우

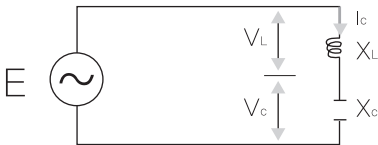


그림2. 직렬 리액터가 있는 경우

#### ① 직렬 리액터가 없는 경우

3상 3.3kV 회로에 500kVAR 콘덴서가 Y결선으로 접속(167kVAR×3대)되어 있다고 하면 우선 상전압과 콘덴서 정격전압이 동일하므로, 콘덴서 정격전압

$$V_c = \frac{V}{\sqrt{3}} = V_p = \frac{3,300}{\sqrt{3}} = 1,905(\text{V}) \text{ 이다.}$$

또, 콘덴서의 정전용량과 정격전류는

$$C = \frac{Q_c}{2\pi f \left(\frac{V}{\sqrt{3}}\right)^2} = \frac{167 \times 10^3}{2\pi \cdot 60 \cdot V_p^2 \times 10^{-6}} = 122[\mu\text{F}]$$

$$I_c = \frac{Q_c}{V_p} = \frac{167 \times 10^3}{1,905} = 87.7[\text{A}]$$

#### ② 6% 직렬 리액터를 삽입할 경우 콘덴서의 정격전압과 정격 전류는

$$V_c' = 1,905 \times \frac{1}{1-0.06} = 2,027[\text{V}]$$

$$I_c' = 87.7 \times \frac{1}{1-0.06} = 91.4[\text{A}] \text{ 로 상승하게 된다.}$$

이때, 직렬 리액터의 용량은  $167 \times 0.06 = 10[\text{kVAR}]$ 이고, 리액터에 걸리는 전압은  $V_L = 2,027 - 1,905 = 122[\text{V}]$  (또는  $2,027 \times 0.06 = 122[\text{V}]$ 로 계산해도 결과는 동일하다)

#### ③ 13% 직렬 리액터를 삽입할 경우 같은 방법으로

$$V_c' = 1,905 \times \frac{1}{1-0.13} = 2,190[\text{V}]$$

$$I_c' = 87.7 \times \frac{1}{1-0.13} = 101[\text{A}]$$

$V_L = 2,190 \times 0.13 = 2,190 - 1,950 = 285[\text{V}]$  와 같다. 이와 같이, 콘덴서 회로에 직렬 리액터를 삽입하면, 콘덴서의 단자전압과 전류가 상승함을 알 수 있다.

#### 직렬 리액터 용량 변경시 콘덴서에 대한 영향

리액터의 용량을 크게 하면 고조파의 유입을 억제하고, 투입시 돌입전류를 감소시키는 효과는 있으나 반면 콘덴서의 단자전압이 증가하여 콘덴서의 최고 허용 전압을 초과할 우려가 있다.

여기서 캐패시터의 허용 과전압은 정격의 110% 이상 될 수 있는 직렬 리액터를 삽입할 경우에는 사전에 과전압, 과용량을 고려해야 한다.

예를 들면, 제5고조파 억제를 위하여 직렬 리액터를 6% 또는 8% 삽입하였을 때, 그 영향을 검토하여 보자.

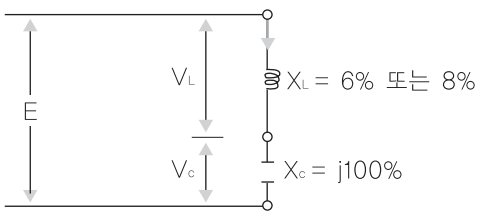


그림3. 콘덴서의 단자전압

여기서  $X_L$ 을 직렬 리액턴스,  $X_c$ 를 콘덴서의 리액턴스라 할 때 제 5고조파 등가 리액턴스  $X_{c5}$ 는

① 직렬 리액턴스 6%인 경우

$$X_{c5} = 5X_L + X_c / 5 = 5 \times j6 - j100 / 5 = j10\%$$

② 직렬 리액턴스 8%인 경우

$$X_{c5} = 5X_L + X_c / 5 = 5 \times j8 - j100 / 5 = j20\%$$

즉, 직렬 리액턴스 6%인 때에 비하여 직렬 리액턴스를 8%로 했을 때 제5고조파의 리액턴스는 2배로

증가하며, 콘덴서 단자 전압  $V_c$ 는

$$V_c = \frac{X_c}{X_c + X_L} \cdot E \text{ 로}$$

직렬 리액턴스 6%인 때

$$V_c = \frac{-j100}{-j100 + j6} = 1.06E$$

직렬 리액턴스 8%인 때

$$V_c = \frac{-j100}{-j100 + j8} = 1.09E \text{ 가 된다.}$$

따라서 직렬 리액턴스 8%인 경우에는 콘덴서 최고 사용전압(정격의 110%)과 거의 같은 전압에서 운전하게 되므로 모선전압의 상승을 고려하면 최고 사용전압을 초과하게 될 우려가 있다. 더욱이 제3고조파나 제7고조파를 고려하여 직렬 리액터를 13~15%를 삽입할 경우, 콘덴서 단자전압은 15~17.6%가 상승하므로 콘덴서 발주시에는 특별히 이 점에 유의하여 제작자와 상의할 필요가 있다.

**Q** 직렬리액터(콘덴서 3.3[kV]→3.6[kV] 변경시) 그대로 재사용 가능 여부?

**A** 직렬리액터 재사용 여부는 리액터의 도통시험(일반적 시험과 정밀시험으로 구분 적용할 수 있음)과 절연내력 시험을 거쳐 판단할 사항입니다. 고압기기로서 비접지 전로인 경우 전기설비기술기준 절연내력 시험(제16조)에서 제시된 내용은 비접지식인 경우 최대사용전압 × 1.5로서 10분간 견딜 것입니다.

# Question & Answer

## 정격 리액터 접속시 콘덴서 용량을 변경시킬 경우

### ① 캐패시터 용량을 감소시킬 경우

정격 리액터가 접속되어 있는 상황에서 어떤 요인으로 인하여 캐패시터의 정전용량을 감소시킬 경우, 콘덴서의 리액턴스는 더욱 커지고 리액터의 캐패시터에 대한 임피던스 비율은 감소( $C \downarrow - X_c \uparrow$ 이므로) 되어 전체 임피던스가 더욱 용량성 쪽으로 기울게 되어 돌입전류를 더 많이 흡수하게 되는 결과가 되므로 고조파 확대 현상을 일으킬 가능성이 크다. 따라서 실제로 리액턴스비는  $L=6\%$ 를 사용하고 있을 경우 리액턴스 비가 5% 이하가 되지 않는 범위 즉,  $5/6=0.83(83\%)$ 로 되어 리액터 접속전 용량의 83% 이하로 감소시키는 것은 피하도록 한다.

### ② 캐패시터 용량을 증가시킬 경우

캐패시터 용량을 증가시킬 경우 역으로 리액터의 리액턴스 비가 증가( $C \uparrow - X_c \downarrow$ 이므로)하기 때문에 캐패시터의 단자전압이 상승하게 된다.

또, 정전용량의 증가로 전류가 증가( $I = \omega CV$ 이므로)하여 리액터의 전류용량이 부족하게 된다. 따라서, 캐패시터 용량을 증가시켜야 할 경우에는 직렬 리액터를 변경 설치하여야 한다.

예를 들어 6kVA 리액터는 콘덴서 100kVA에 접속 되면 비로소 리액턴스 6%가 되어 제 5고조파에 대해 주효(奏效)하게 된다. 만약 이 6kVA 리액터가 콘덴서 50kVA에 접속한 경우에는

$$6kVA \times \left(\frac{50kVA}{100kVA}\right)^2 = 1.5kVA$$

로 콘덴서 50kVA에 대해서는 3% 리액턴스가 되어 제5고조파에 대해서는 효과가 없고, 오히려 회로

정수에 따라서 증가하는 경우도 생긴다. 상기 사항을 수식으로 증명해 보면,

### ■ 콘덴서 용량 변경전 리액터 용량

$$\frac{V^2}{X_c} = Q_c \text{에서}$$

$$V = \sqrt{X_c Q_c}$$

$$I = \frac{V}{X_c} = \frac{\sqrt{X_c Q_c}}{X_c} = \sqrt{\frac{Q_c}{X_c}}$$

$$Q_L = I^2 \cdot X_L = \frac{Q_c}{X_c} \cdot X_L = \frac{Q_c}{X_c} \cdot 0.06X_c = 0.06Q_c$$

### ■ 콘덴서 용량 변경후 리액터 용량

$$\frac{V^2}{X_c'} = Q_c'$$

$$I' = \sqrt{\frac{Q_c'}{X_c'}}$$

$$Q_L' = I'^2 \cdot X_c'$$

$$X_L' = X_L = 0.06X_c \text{ 이므로}$$

$$Q_L' = \frac{Q_c'}{X_c'} \cdot X_L$$

$$= \frac{Q_c'}{X_c'} \cdot \frac{X_c Q_L}{Q_c} = \frac{Q_c'}{Q_c} \cdot \frac{X_c}{X_c'} \cdot Q_L$$

$$= Q_L \cdot \frac{Q_c'}{Q_c} \cdot \frac{Q_c}{Q_c}$$

$$\left(\frac{V^2}{X_c} = Q_c \text{에서 } X_c \text{와 } Q_c \text{는 반비례}\right)$$

$$= Q_L \cdot \left(\frac{Q_c'}{Q_c}\right)^2$$

따라서, 콘덴서 용량을 감소시켰을 경우, 리액터 용량은 콘덴서 용량의 제곱에 비례하여 작아짐을 알 수 있다.