시리즈

콘덴서 接續位置의 選定方法

일반적인 전력부하는 유효분 전력과 무효분 전력으로 구성되어 있으며 전기 에너지로서 필요한 것은 유효분 전력이다. 특히 공장 등의 전력설비에는 전동기나 용접기, 저주파유도로와 같은 늦은 역률의 부하가 많고 무효분 전력을 여분으로 계통에 흐르게 하기 때문에 다음과 같은 장해가 발생한다.

(i) 전력손실이 커진다.

(ii) 전압강하가 커진다.

(iii) 설비용량이 커진다.

무효분 전력을 경감시키기 위해서는 진상 콘덴서가 사용되는데 콘덴서의 접속위치를 어디로 설정하는지에 따라 효과가 크게 달라지기 때문에 여기서는 이 점에 대해서 해설한다.

1. 進相콘덴서 設置의 效果

진상 콘덴서 설치의 목적은 역률의 개선이며 아래와 같은 효과를 얻을 수가 있다.

(i) 변압기나 배전선의 손실이 경감된다.

(ii) 전압강하를 저감시킨다.

(iii) 전력손실을 저감시킬 수 있으므로 설비에 여력이 생긴다.

(iv) 전력요금을 저감시킨다.

(1) 變圧器, 配電線의 損失低減

진상 콘덴서를 접속함으로써 역률이 개선되고 선로전류가 감소되어 선로손실이 저감된다. 그 저감량은 다음과 같다.

(a) **變圧器損失의 低減** 변압기 손실은 철손과 동손으로 구분되며 철손은 일정한데 동손의 저감량은 다음 식과 같다.

$$W_T = \left(\frac{100}{\eta} - 1\right) \times \left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right) \times \left(\frac{P}{P_r}\right)^2 \times \left(1 - \frac{\cos^2\theta_0}{\cos^2\theta_1}\right) \times P_r \text{〔KW〕} \quad (1)$$

단, η : 변압기 효율〔%〕

P : 부하용량〔KW〕

P_r : 변압기용량〔KW〕

α : 손실비 $\left[\frac{\text{동손} W_c}{\text{철손} W_i}\right]$

$\cos\theta_0$: 개선 전의 역률

$\cos\theta_1$: 개선 후의 역률

예 : 변압기의 효율η = 96〔%〕, 부하의 용량P = 400〔KW〕, 변압기의 용량이 P_r = 500〔KW〕, 손실비 α = 3이고 역률이 0.85라 하면 진상 콘덴서를 접속하여 역률을 0.95로 개선한 경우 (1)식에 의하여

$$W_T = \left(\frac{100}{96} - 1\right) \times \frac{3}{4} \times \left(\frac{400}{500}\right)^2 \times \left(1 - \frac{0.85^2}{0.95^2}\right) \times 500 = 2.0\text{〔KW〕}$$

이상에서 변압기의 손실이 2 KW 저감된다. 2KW라면 극히 작게 생각되는데 변압기의 전손실을 1.5%라 하면 500V 0.015 = 7.5〔KW〕이며 7.5KW에 대하여 2KW의 저감이 되므로 그 효과는 매우 큰 것이다.

(2) 配電線路의 損失低減

배전선로의 손실은 다음 식에 의하여 구할 수 있다.

$$W_e = \frac{P^2}{E^2} \times R \times \left(\frac{1}{\cos^2\theta_0} - \frac{1}{\cos^2\theta_1}\right) \times 10^{-3}\text{〔KW〕} \quad (2)$$

단 P : 부하의 유효전력〔KW〕
E : 회로전압〔KV〕
R : 선로 1상분의 저항〔Ω〕
$\cos\theta_0$: 개선 전의 역률
$\cos\theta_1$: 개선 후의 역률

예 : 부하의 유효전력이 P=300〔KW〕, 회로전압이 E=6.6〔KV〕, 케이블 1상당의 저항이 R=0.16 Ω/km, 케이블의 길이를 2km라 하고 $\cos\theta_0$=0.85, $\cos\theta_1$=0.95라 하면 (2)식에 의하여

$$W_e=\frac{300^2}{6.6^2}\times 0.16\times 2\times\left(\frac{1}{0.85^2}-\frac{1}{0.95^2}\right)\times 10^{-3}$$
$$=0.182〔KW〕$$

따라서 케이블의 손실 저감량은 182W가 된다.

(3) 電圧降下의 低減

배전선 및 변압기에 무효전력이 흐르면 전압강하가 증대되는데 진상 콘덴서를 접속하여 역률개선을 기하면 무효전류가 감소되기 때문에 전압강하를 감소시킬 수가 있다. 이 저감량은 다음 식으로 표시된다.

$$\Delta V=\frac{X\cdot Q_c}{3\cdot E}〔V〕$$

단, Q_c : 콘덴서 용량〔KVA〕
X : 선로의 리액턴스〔Ω〕
E : 선로의 상전압

예 : 3300V 배전선에서 500W, 역률 85%의 전력을 소비할 때 배전선의 임피던스는 R_0=0.16〔Ω/km〕 X_0=0.38〔Ω/km〕, 거리 2km라 하면 이 때의 송전단의 전압강하는

$$E=\frac{3300}{\sqrt{3}}=1905〔V〕$$

$\tan\theta$ =0.62 (역률 85%)

$$R=0.16\times 2=0.32〔\Omega〕$$
$$X=0.38\times 2=0.76〔\Omega〕$$

$$\Delta E=\frac{P}{3\cdot E}(R+X\tan\theta)$$
$$=\frac{500\times 10^3}{3\times 1905}(0.32+0.76\times 0.62)=69.2〔V〕$$

가 된다.

다음에 역률이 95%가 되는 진상 콘덴서를 접속한 경우의 전압강하는 $\tan\theta_1$=0.329 (역률 95%)에 의하여

$$\Delta E=\frac{500\times 10^3}{3\times 1905}(0.32+0.76\times 0.329)=49.9〔V〕$$

따라서 전압강하를 69.2−49.9=19.3〔V〕 감소시키게 된다.

(4) 설비용량의 저감

역률개선에 의하여 皮相電流가 감소되므로 변압기에서는 통과피상전력이 감소되고 그 몫만큼 변압기 용량에 여력이 생긴다. 또한 배전선로에서도 마찬가지로 여력이 생긴다.

가령 역률개선에 의하여 증설이 가능한 부하증가량 ΔP〔KW〕는 변압기 용량을 P_T〔KVA〕, 개선 전의 역률을 $\cos\theta_1$, 개선 후의 역률을 $\cos\theta_2$, 개선 전의 부하를 P_0〔KW〕라 하면

$$\Delta P=P_T\cos\theta_2-P_0〔KW〕$$

가 된다.

(5) 電力料金의 低減

전력회사와 수전계약을 할 경우에 원칙적으로 역률을 90% 이상으로 유지한다는 전력요금상의 협정이 있으며 기본요금에 대해서는 역률이 이보다 높으면 할인하고 낮으면 할증되는 구조로 되어있다.

2. 電圧別 콘덴서 接續位置

진상 콘덴서를 설치함으로 인한 효과는 앞에서와 같이 여러 가지로 들 수 있는데 그 효과는 진상 콘덴서를 접속한 위치보다 전원측에 나타난다. 진상 콘덴서의 접속위치로서는 특별고압측 접속(11KV~77KV), 고압측 접속(3.3KV~6.6KV), 저압측 접속(600V 이하)의 3가지 케이스가 있다.

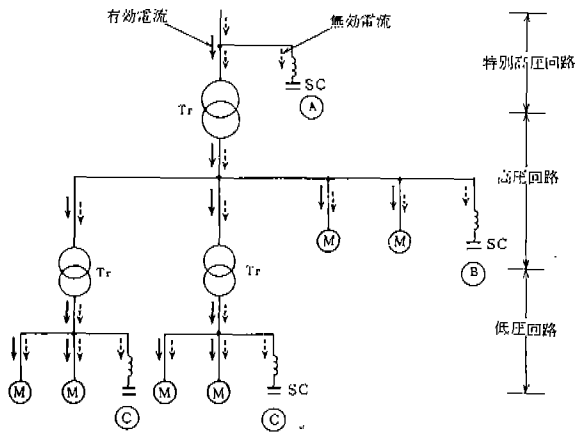
그림 1에 각 전압별로 콘덴서를 접속한 경우를 들었다. 특별고압모선에 접속된 Ⓐ의 경우 전원측의 역률은 개선 되는데 특별고압모선 이하의 변압기나 배전선의 역률은 개선되지 않는다.

고압모선에 접속된 Ⓑ의 경우 고압모선 이하의 변압기나 배전선의 역률은 개선되지 않는다.

저압모선에 접속된 Ⓒ의 경우 저압모선보다 위의 변압기나 배전선의 역률은 개선되는데 저압부하의 역률은 개선되지 않는다.

(1) 特別高圧側 接續

특별고압 수전의 수용가에서는 특별고압측에 진



〈그림－1〉 電圧別 進相콘덴서 接續位置

상 콘덴서를 접속하는 것은 가능하다. 그러나 수전점에서의 역률개선에는 기여하는데 변압기 이하의 역률개선과는 전혀 관계가 없다. 또한 특별고압 진상 콘덴서는 고압진상 콘덴서에 비하여 상당히 고가로 되며 기타 개폐장치를 포함하면 대폭적인 코스트高로 되기 때문에 특별한 이유가 없는 한 특별고압측에 진상 콘덴서를 접속하지는 않는다.

(2) 高圧側 接續

특별고압수전 및 고압수전의 수용가에서는 수전변압기 2차측의 고압모선에 진상 콘덴서를 접속하는 것이 일반적인 방식이다. 이것은 고압모선 이상의 변압기 및 전선로의 손실을 저감시킬 수가 있기 때문에 전력요금 저감의 목적을 얻을 수 있다는 것 고압진상 콘덴서 및 그 개폐기 등이 표준품으로서 널리 보급되어 있으므로 가격면에서도 매우 유리하기 때문이다. 그러나 고압모선에 진상 콘덴서를 접속해도 저압으로 강압되는 변압기나 저압측의 부하의 역률개선에는 전혀 효과가 없으므로 최근에는저압측에도 진상 콘덴서를 접속하는 수용가가 증가되고 있다.

(3) 低圧側 接續

저압측에 진상 콘덴서를 접속하면 상류측의 변압기나 배전선로의 손실이 저감되어 그 효과가 매우 크고 이상적으로 되는데 용량이 커지기 때문에 코스트면이나 기술적인 면에서 고압진상 콘덴서 보다 불리해진다. 또한 경부하시에는 진상 콘덴서의 용량을 제한하지 않으면 과전압으로 되어 저압기기의 절연을 위협하게 된다. 따라서 부하의 증감에 따라 진상 콘덴서의 용량을 조정해야 되므로 콘덴서의 이용률이 저하된다.

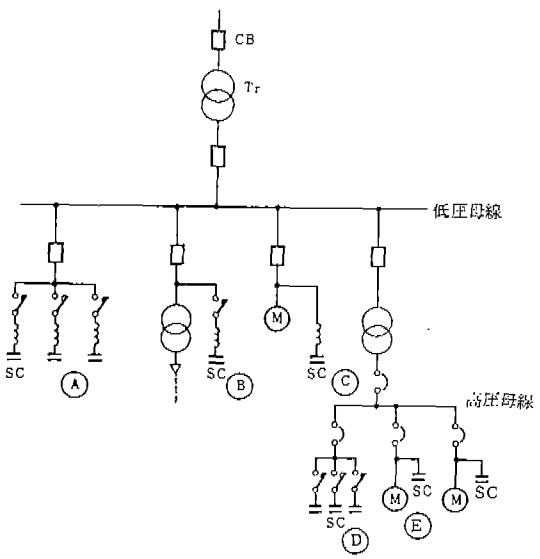
저압측에 진상 콘덴서를 접속할 경우에는 전체의 수배전 시스템과 부하부터 잘 검토해야 된다.

3. 集中接續과 分散接續

진상 콘덴서를 모선에 집중하여 접속하는 경우를 집중접속, 각 부하에 개별적으로 접속하는 경우를 분산접속이라고 한다. 그림 2에 진상 콘덴서의 접속방식을 들었는데 Ⓐ나 Ⓓ와 같이 모선에 집중되어 어느 정도 큰 용량의 진상 콘덴서를 접속하는 방식을 집중접속방식이라고 한다.

다른 한편 ⒷⒸⒺ와 같이 각 부하에 직접 진상 콘덴서를 접속하는 방식을 분산접속방식이라고 한다.

집중접속방식에서는 비교적 대용량의 진상 콘덴서를 접속할 수 있기 때문에 부하의 가동률을 보면서 효과적인 용량을 설정할 수 있다는 것, 또한 설비의 코스트면에서 보면 동종, 동용량의 것을 많이 설치할 수 있으므로 경제적이다. 종합적으로 묶어 한 자리에 설치할 수 있으므로 보수작업도 능률적으로 할 수 있다는 등의 장점이 있는데 각 부하별



〈그림－2〉 進相콘덴서의 集中接續方式과 分散接續方式

의 역률개선이 되지는 않는다. 각 피더배전선의 손실저감이나 용량여력증의 효과를 얻을 수 없다는등의 단점이 있다.

한편 분산접속방식은 부하점까지의 배전선이 역률개선되어 배전선의 사이즈를 작게하는 것도 가능하며 또한 진상 콘덴서를 부하와 직결하여 동시에 개폐하기 때문에 부하의 운전, 정지에 따른 역률의 변동이 없어진다.

그러나 이 방식은 각 부하에 따라 다종 소용량의 진상 콘덴서를 많이 필요로 하기 때문에 경제적으로 불리해진다. 또한 부하의 가동률이 낮으면 진상 콘덴서의 이용도가 낮아진다. 설치장소도 각 부하에 산재되어 있으므로 보수면에서도 불리해지는데 고압의 유도전동기(IM)의 경우 특히 유효하므로 적용예가 많다. IM와 함께 진상 콘덴서를 개방하면 자기여자현상이 발생하여 과전압이 발생하는 수가 있게되어 진상 콘덴서 용량에는 제한이 있으므로 주의를 요한다.

일반적으로 각 부하까지의 배전선이 짧아 배전선 손실이나 배전선의 용량이 별로 문제시 되지 않는 경우에는 집중접속방식으로 하고 반대로 부하까지의 배전선이 길고 배전선의 손실이나 용량이 문제가 되는 경우에는 분산접속방식으로 하는 것이 효과적이다. 물론 집중방식과 분산방식을 혼성하여 보다 효과적으로 역률을 개선하는 방식이 가장 좋겠다.

4. 콘덴서 設置 上의 注意事項

진상 콘덴서를 접속할 경우에는 다음 사항에 주의한다.

(1) 진상 콘덴서의 용량은 부하의 무효분 전력보다 커지지 않을 것, 콘덴서의 용량이 너무 크면 역률이 너무 앞서게 되어 과전압이나 변압기의 온도상승의 원인이 된다.

(2) 진상 콘덴서는 일반적인 전기기기와는 달리 운전중에는 항상 전부하상태로 되어 있다. 따라서 주위온도에는 충분히 유의하여 필요에 따라 환기를 시킨다.

(3) KSC 4507「큐비클식 고압수전설비」의 경우 이 규정은 수전설비용량이 1000KVA 이하에 적용되며 단선결선도에서 진상 콘덴서를 접속하도록 되어 있다. 또한「내선규정」에 저압의 전동기, 전력장치에서 저역률의 것은 진상 콘덴서를 설치할 것을 권장하고 있으며 저압진상 콘덴서는 개별적인 부하에 설치하는 것을 원칙으로 하고 있다.

(4) 진상 콘덴서는 개폐시에 다음과 같은 특이현상이 있으므로 회로의 기기가 그들에 충분히 견디는지를 확인해야 된다.

(i) 콘덴서 투입시의 돌입전류에 의한 변압기 2차회로의 과전압

(ii) 콘덴서 개방시의 순시모선전압강하

(iii) 콘덴서 개방시의 개폐기의 극간 회복전압에 의한 재점호현상

(5) 유도전동기와 콘덴서가 개폐기의 부하측에서 직결되어 있는 경우 개폐기 개방 후 전동기가 콘덴서의 전류에 의하여 자기여자되어 고전압을 발생하므로 통상 콘덴서의 용량은 전동기 정격용량의 1/2~1/4을 가늠으로 하여 선정해야 된다.

(6) 전기설비기술기준령에 의하여 500~15000KVA의 콘덴서뱅크에서는 내부고장 또는 과전류의 경우에 동작하고 자동적으로 전로에서 차단하는 장치를 또한 15000KVA 이상의 뱅크에서는 내부고장, 과전류 또는 과전압의 경우에 동작하며 자동적으로 전로에서 차단되어 장치를 설치해야 된다.

진상 콘덴서를 어느 위치에 접속하는지에 대해서는 실회로에서의 배전선로 및 부하의 상황을 가미하여 계산한 후 결정해야 된다. 일반적으로 말한다면 대용량전동기에는 그 무효분보다 커지지 않는것을 직결하여 나머지를 다른 부하의 무효분과 함께 모선에 집중접속하는 것이 유리하다고 하겠다.

*