

전력용 콘덴서는 무효전력을 보상하여 역률을 개선하기 위해 전력계통에 없어서는 안 될 기기이다. 콘덴서는 본래 절연신뢰성이 높은 기기인데, 고조파 발생부하로 싸이리스터 응용기기가 광범위하고 다양하게 사용됨에 따라 콘덴서 설치와 운용을 잘못하면 전력계통에 과도한 고조파 왜곡을 발생시켜, 다른 기기에 영향을 줄 뿐 아니라, 콘덴서 자체도 성능열화 또는 과열손상을 초래한다. 따라서 고조파 발생원을 갖는 계통에서는 콘덴서 설치·운용에 있어서 충분한 검토가 필요하다. 본문의 구성은 전력계통에서 이해하기 어려운 고조파 관련 기술을 학습한 후, 무효전력제어와 역률 개선 기술을 해설하고자 한다.

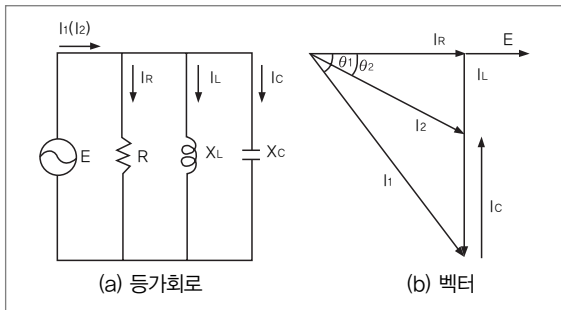
Photovoltaic Power Generating System

전력계통 고조파 대책과 역률개선 기술

글 _ 이성우 | 파워세븐엔지니어링 대표 · 임종필 | 파워세븐엔지니어링 차장
박선봉 | 롯데건설 부장 · 최진성 | (주)동양티피티 이사

5.2 콘덴서 용량 계산

역률개선의 정의에서 기술한 바와 같이 유도성 리액턴스에 의한 무효전류는 전력손실이나 전압강하를 일으킬 뿐이므로 이것을 되도록 경감시키기 위해 콘덴서가 사용된다. 콘덴서가 설치된 계통을 등가회로와 벡터도를 표시하면 그림 10과 같다.



【그림 10】 역률개선의 등가회로와 벡터도

여기서, 저항 R에 흐르는 전류 I_R 은 전압 E와 동상이고 유도성 리액턴스 L에 흐르는 전류 I_L 은 전압 E보다 90° 지연된 것이고, 그 벡터합은 부하전류 I_1 이다. 이제 이 부하와 병렬로 콘덴서를 접속하면 콘덴서에 흐르는 전류 I_C 는 전압 E보다 90° 앞서므로 무효전류 I_L 은 I_C 만큼 감소하고, 부하전류 I_1 은 I_2 로 감소한다. 따라서 역률은 $\cos\theta_1$ 에서 $\cos\theta_2$ 로 개선되는 것이다.

그림 10에서 유효전력을 P [kW], 역률 $\cos\theta_1$ 으로 하면 무효 전력 Q [kVA]는,

$$Q = \frac{P}{\cos\theta_1} \sin\theta_1 = P \tan\theta_1 \quad \dots\dots (24)$$

이므로, Q_C 라는 콘덴서를 부하와 병렬로 접속하면 Q 는 $Q - Q_C$ 가 된다. 따라서 개선 후의 역률 $\cos\theta_2$ 는,

$$\cos\theta_2 = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q - Q_C)^2}} \quad \dots\dots (25)$$

로 주어진다.

그러므로 설비해야할 콘덴서의 용량은 수식(25)에 (24)식을 대입해서 정리하면 다음 식이 얻어진다.

$$Q_C = P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \quad \dots\dots (26)$$

$$Q_C = P \left(\frac{\sin\theta_1}{\cos\theta_1} - \frac{\sin\theta_2}{\cos\theta_2} \right) \quad \dots\dots (27)$$

【예제 4】 2000kW, 역률 85%인 부하를 역률 95%까지 개선 하는데 필요한 콘덴서의 용량은 얼마인가?

[해설] 수식(26)에서 구하면

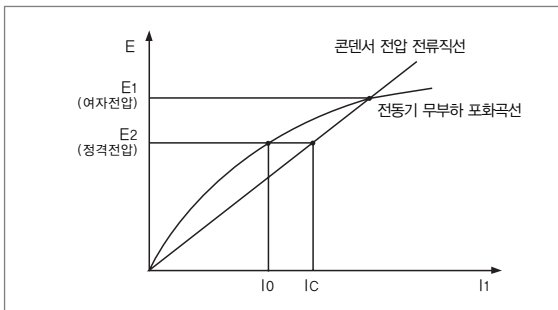
$$Q_c = P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$$

$$= 2000(0.620 - 0.329)$$

= 542 [kVA] 가 된다. 역률을 개선하는데 필요한 콘덴서의 용량은 개선 후, 몇 %로 하는 것이 적절한지를 살펴볼 필요가 있다. 경부하시에 진상운전이 되지 않게 하자면 평균부하에 대해 역률이 95%정도 되게 유지하면 그다지 역률은 나빠지지 않는다. 다음에 평일 및 휴일의 부하(무효전력) 변동특성, 계절에 따른 부하변동 상황을 파악하고 최저부하(최저 무효전력)에 대한 고정 콘덴서 용량 및 무효전력 변동분에 대한 가변 콘덴서 용량을 결정한다. **예제 6**을 참고한다.

[예제 5] 유도전동기는 부하의 변동에 관계없이 그 무효전력이 일정하기 때문에 전동기에 직결하여 콘덴서를 설치하는 경우가 많다. 대용량의 경우 개폐기를 개방할 때 자기여자현상이 발생할 수 있는데 이에 대한 예상되는 문제점과 대책을 설명하여라.

[해설] 여기서, 자기여자 현상이란 개폐기를 개방한 후, 전압이 즉시 0이 되지 않고 이상 상승하거나 꽤 오래 동안 감쇄하지 않는 현상을 말한다. 유도전동기에 그 여자용량보다 큰 콘덴서를 삽입하면 **그림 11**처럼 개방 후 무부하 포화곡선과 콘덴서 전압-전류직선과의 교점의 정격전압보다 높은 자여전압으로 회전한다.



[그림 11] 자기여자전압

전동기 정격출력에 대해, 역률을 100%로 하는 콘덴서 용량인 경우는 140%까지 이상 상승한다. 즉 콘덴서 용량이 전동기의 여자전류 용량보다 너무 크면 차단기를 개방한 후, 전동기의 고정자·회전자 철심의 자기회로에 남아있는 잔류자기에 의해 미소한 전압이 발생하기 때문에, 콘덴서로 미약한 진전류가 흘러, 그것이 전동기의 여자전류(자연전류)가 되어 자속을

증대시킨다. 자속이 증대하면 발생전압도 증가하고, 콘덴서 전류도 증가한다.

이결과 전동기의 단자전압이 이상 상승하게 되기 때문에 전동기와 콘덴서의 절연물의 열화로 최악의 상태에서는 양자의 절연물이 손상되는 경우가 있다.

따라서 콘덴서 용량은 전동기의 여자용량보다 항상 작게 할 필요가 있다. 여자용량은 보통 전동기 출력값의 1/2~1/4 정도가 기준이다.

부득이 콘덴서 용량을 크게 할 경우에는 콘덴서를 먼저 개방하고 그 후에 유도전동기를 회로로부터 개방한다거나 콘덴서를 회로로부터 개방하는 것과 동시에 유도전동기를 기계적으로 제동할 것 등을 고려해야 한다.

5.3 콘덴서의뱅크수 및 용량

콘덴서의 용량이 결정되면 부하의 변동에 따라 분할여부를, 또 분할한다면 뱅크수와 군별 용량을 결정할 필요가 있다. 부하의 운전특성에 따라 다르겠지만 일반적으로는 콘덴서의 전체 용량이 300kVA 이하이고 부하변동이 작은 경우에는 하나의 군으로 하고, 300kVA를 넘는 경우에는 두개의 군 또는 그 이상으로 분할하여 역률을 조정해 주는 것이 일반적이지만 다음의 요인을 검토해서 결정할 필요가 있다.

1) 부하의 무효전력 변동특성

일·계절별 부하변동 상황을 파악하여 최저부하에 대한 고정 콘덴서군과 부하변동에 대한 가변 콘덴서 군을 결정한다.

2) 개폐장치의 능력

콘덴서 회로의 개폐는 유도부하에 비해 가혹하여, 콘덴서 개폐능력을 지닌 것을 적용한다. 특히 빈번하게 개폐하는 가변군 개폐기는 주의할 필요가 있다. **표 7**은 콘덴서용 개폐기의 적용 기준 예를 나타낸 것이다.

[표 7] 콘덴서용 개폐기의 적용기준 예

개폐기	정격	콘덴서 용량	수명
유입 개폐기	7.2kV 200A	3.3kV 600kVA 6.6kV 1,000kVA	차단부 9,000회 기구부 50,000회
진공 접촉기	3.3kV 200A 3.3kV 400A 6.6kV 200A 6.6kV 400A	3.3kV 800kVA 3.3kV 1,600kVA 6.6kV 1,600kVA 6.6kV 3,000kVA	차단부 기구부공 250,000회

3) 전압변동

콘덴서를 투입하면, 모선전압이 상승하므로 대용량인 경우에는 검토가 필요하다.

4) 비용

콘덴서 군수가 증가하면 효과적인 제어가 기대되는 반면, 유지보수 및 비용이 증가한다.

콘덴서 군수 선정은 상기와 같은 여러 요인을 고려하여, 고정군과 가변군은 3~4군정도 되는 경우가 많다.

[예제 6] 콘덴서 고정군과 가변군 선정에 대하여 아래의 조건을 들어 계산하라.

- 최대사용 전력 2,000kW, 최대 사용시 역률 85%
- 경부하시 전력 400kW, 경부하시 역률 80%
- 평균전력 1,500kW
- 목표 역률 95%

[해설] 최대전력을 사용하는 경우 필요한 콘덴서 총용량은

$$Q_{max} = P_{max}(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$$

$$= 2000(0.620 - 0.329)$$

= 582 [kVA]가 된다. 이 콘덴서 용량 중에 고정적으로 접속되는 콘덴서 용량은, 경부하시 전력에서

$$Q_{min} = P_{min}(\tan\theta_1)$$

$$= 400(0.75)$$

$$= 300[kVA]가 된다. 또한 평균전력에 상당하는 콘덴서 용량은$$

$$Q_{ave} = P_{ave}(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$$

$$= 1500(0.620 - 0.329)$$

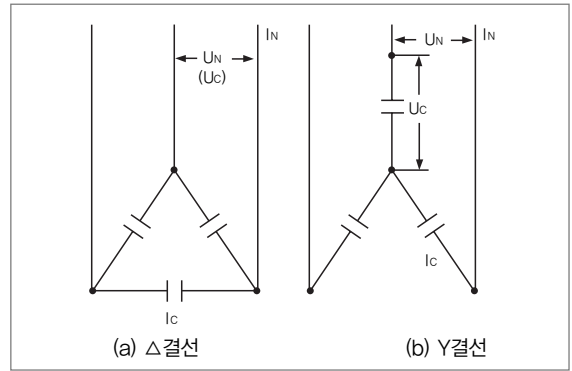
$$= 436[kVA]가 된다. 이 경우, 역률조정은 3단계로 하는 것으로 하여 콘덴서 군 용량을 다음과 같이 결정하면$$

- 콘덴서 총 용량 : 600[kVA]
- 고정콘덴서 용량 : 300[kVA]
- 가변콘덴서 용량 : 150[kVA] × 2군이 된다.

[예제 7] 콘덴서 결선은 △결선 또는 Y결선으로 구성할 수 있다. 결선방식의 주요 정수를 비교하여 보아라.

[해설] 콘덴서 결선은 그림 12와 같이 나타낼 수 있으며, 콘덴서 결선방식을 이해하면, 주요 정수를 쉽게 구할 수가 있다. 콘덴서는 저압용과 고압용으로 제작된다. 저압용에서는 △결선에 의한 3상 구성이 보통이지만 고압용에서는 △결선, Y결선

이 모두 채택되며, 1상당 또는 선간당 내압을 고려해서 그 중 하나를 골라 제작된다. 주요 정수 비교는 표 8과 같다.



【그림 12】 콘덴서 결선도

【표 8】 콘덴서 주요 정수비교

	△결선	Y결선
Rated current (I_N)	$\frac{Q_C}{U_N \cdot \sqrt{3}}$	$\frac{Q_C}{U_N \cdot \sqrt{3}}$
Capacitor voltage (U_C)	U_N	$\frac{U_N}{\sqrt{3}}$
Capacitor current (I_C)	$\frac{I_N}{\sqrt{3}}$	I_N
Impedance (X_C)	$\frac{U_N^2}{\sqrt{3} Q_C}$	$\frac{U_N^2}{Q_C}$
Capacity (C)	$\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_N \cdot X_C}$	$\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_N \cdot X_C}$
Phase capacity (C_ϕ)	$\frac{C}{3}$	C

