



# 건축전기설비 기술사 문제해설

김세동 | 두원공과대학 교수, 공학박사, 기술사

## 문제 ➔

고조파가 전력용 콘덴서에 미치는 영향과 대책에 대해서 논하시오.

- ⓐ 본 문제를 이해하기 위해서는 스스로 문제를 만들고, 답을 써보시오. 그리고, 기억을 오래 가져갈 수 있는 아이디어를 기록한다.

항 목	Key Point 및 확인 사항
가장 중요한 Key Word는?	고조파, 전력용콘덴서
관련 이론 및 실무 사항	1. 고조파의 뜻을 알고 있나요? 2. 전력용콘덴서의 특성과 주파수에 반비례하는 것을 알고 있나요? 3. 전력용콘덴서의 설치 목적과 설치용량을 계산할 수 있나요? 4. 고조파로 인하여 전력용콘덴서가 가장 많이 소손되고 있는 것으로 조사되고 있는데, 어떠한 이유인지 알고 있나요? 5. 전력용콘덴서의 고조파 장애를 줄이는 방법도 알고 있나요? 매우 중요한 사항이므로 확인해야 합니다.

## 해설 ➔

### 1. 고조파의 개념

기본이 되는 주파수를 기본파 또는 기본주파수라고 한다. 고조파는 기본주파수에 대해 2배, 3배, 4배와 같이 정수의 배에 해당하는 물리적 전기량을 말한다. 즉 우리나라의 경우 제2고조파는 120Hz, 제3고조파는 180Hz의 주파수를 갖는다. 다시말해서, 고조파는 '정현파가 아닌 파형'을 말하며, 왜형파 혹은 왜곡파라 하고, 영문으로 'Harmonic' 이라고 한다.

## 2. 고조파가 콘덴서에 미치는 영향

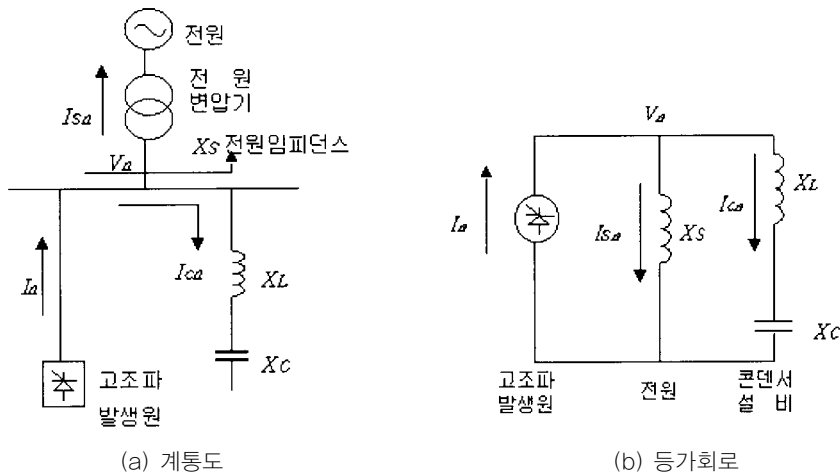
전력용콘덴서는 다음과 같은 원인으로 소손되는 경우가 있다.

- 1) 콘덴서는 높은 주파수에서 임피던스값이 작아지게 되며, 이로 인하여 고조파전류가 유입하기 쉽다는 것이다. 전력용 콘덴서는 직렬리액터가 부착될 경우에 최대사용전류의 120% 이하, 제5고조파전류는 35% 이하에서 사용되어야 하나, 고조파전류 등으로 인해서 기준값보다 많이 흐르게 되면 과열로 소손이 발생할 우려가 많다.
- 2) 콘덴서는 용량성인 리액턴스이기 때문에 전원측의 유도성 리액턴스와의 사이에서 공진(회로중 어느 부분의 전압 또는 전류가 특정한 주파수 부근에서 급격히 크게 변화되는 현상을 말한다)이 생겨 고조파전류가 확대될 경우 전력용 콘덴서가 소손될 우려가 많다.

## 3. 전력용콘덴서의 고조파 장애 요인

### 1) 공진 현상의 발생

그림 1의 계통에서 고조파 전류  $I_n$  은  $I_{sn}$  과  $I_{cn}$  으로 분류하지만, 벡터적으로 계산하면 회로조건에 따라서  $I_{sn} > I_n$  또는  $I_{cn} > I_n$  과 같이 발생량보다 확대되는 경우가 있다



1.

그림 1의 (b)에서 전력계통으로 흐르는 전류 및 전력용콘덴서로 흐르는 전류 은 식 (1)과 식 (2)와 같다.

$$\frac{I_{sn}}{I_n} = \frac{\frac{nX_L - \frac{X_c}{n}}{nX_S}}{1 + \frac{nX_L - \frac{X_c}{n}}{nX_S}} \quad (1)$$

$$\frac{I_{cn}}{I_n} = \frac{1}{1 + \frac{nX_L - \frac{X_c}{n}}{nX_S}} \quad (2)$$

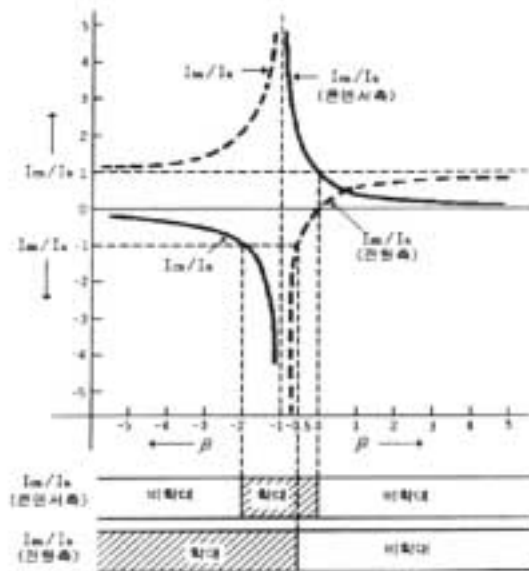
식 (1)과 식 (2)에서  $\frac{nX_L - \frac{X_C}{n}}{nX_S} = \beta$  이라 하면, 다음과 같이 나타낸다.

$$\frac{I_{sn}}{I_n} = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad (3)$$

$$\frac{I_{cn}}{I_n} = \frac{1}{1 + \beta} \quad (4)$$

그림 2는 상기의 계산 결과를 이용하여 고조파 전류 확대 현상에 대해 보여주고 있다. 여기서,  $\beta$ 의 값에 따라 회로 조건이 어떠한 현상으로 동작하는지 검토한다.

- ①  $\beta > 0$  일 경우,  $\beta = \frac{nX_L - \frac{X_C}{n}}{nX_S}$  이기 때문에,  $nX_L - \frac{X_C}{n} > 0$  이다. 이것은 직렬 리액터와 커패시터의 합성 임피던스가 도성으로 전원측 및 커패시터측 모두 확대되지 않는다. 가장 바람직한 상태로 모든 고조파에 대하여 유도성이 되도록 하면 공진으로 인한 고조파 확대 현상은 없다.
- ②  $\beta \neq 0$  일 경우,  $nX_L - \frac{X_C}{n} = 0$  이기 때문에 직렬 리액터와 커패시터에서 직렬 공진이 발생한다. 이러한 경우 발생한 고조파 전류는 커패시터측에 흡수되어 전원측에는 유출하지 않고 필터로 작용한다. 직렬 공진시 직렬 리액터 및 커패시터의 전류량이 부족한 경우가 많기 때문에, 이 같은 회로 조건의 상태에서 사용은 피해야 한다.



2.

- ③  $\beta < 0$  일 경우,  $\frac{nX_L - \frac{X_C}{n}}{nX_S} < 0$  이기 때문에  $\frac{nX_L - \frac{X_C}{n}}{nX_S} < 0$  이다. 이것은 직렬 리액터와 커패시터의 합성 임피던스가 용량성으로 되는 것을 알 수 있다.
- ④  $\beta = -1$  일 경우, 식(3)과 식(4)에서  $\frac{I_{sn}}{I_n} \cdot \frac{I_{cn}}{I_n}$  가 무한대로 커져서 전원측의 리액터스와 콘덴서측이 병렬 공진으로 된다. 이러한 상태는 반드시 피해야 한다. 따라서, 커패시터측의 임피던스(직렬 리액터와 커패시터의 합성 임피던스)를 용량성으로 하면, 공진 및 고조파 전류의 확대 현상을 초래하기 때문에

발생하는 고조파에 대하여 유도성이 되도록 직렬 리액터의 %값을 선정하는 것은 기본적인이다.

## 2) 전류 실효치의 증대

고조파가 유입하면 다음의 식에 의한 실효전류가 흐른다.

$$I = I_1 \sqrt{1 + \sum \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2} \quad [A] \quad (5)$$

즉, 과도한 고조파 함유전류가 흐르면 부싱 리드 및 내부 배선 리드 등의 접속 부분에 과열이 발생하는 원인이 될 수 있다.

## 3) 단자전압의 상승

고조파 유입시 콘덴서 단자전압은 상승하게 되며, 콘덴서 내부소자나 직렬 리액터 내부의 층간 절연 및 대기 절연을 파괴할 수 있다.

$$V = V_1 \left(1 + \sum \frac{1}{n} \cdot \frac{I_n}{I_1}\right) \quad (6)$$

## 4) 콘덴서 실효 용량의 증가

고조파 유입시의 실효 용량은 다음의 식과 같으며, 용량 증대에 따라 유전체 손실(loss)이 증가하고, 소자 내부의 온도 상승이 커지며, 콘덴서의 열화를 가져온다.

$$Q = Q_1 \left[1 + \sum \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2\right] \quad (7)$$

## 5) 고조파 전류로 인한 손실 증가

고조파 전류 유입시의 직렬 리액터 손실은 다음의 식과 같으며, 손실의 증대에 따라 직렬 리액터의 기름 및 권선 온도가 이상하게 높아지고 경우에 따라서는 소손되는 일도 있다. 또한 유입 고조파전류가 커지면 직렬 리액터나 콘덴서에서 큰 이상음이나 진동을 발생할 수 있다.

$$W = W_1 \left[1 + \sum n^a \cdot \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2\right] \quad (8)$$

## 4. 대책

- 1) 직렬리액터가 없는 콘덴서의 경우는 배전계통의 임피던스와 공진현상이 발생하고, 고조파의 확대 현상이 발생하기 때문에 필히 직렬리액터를 부착한 콘덴서로 설치한다.
- 2) 직렬리액터가 있는 경우, 고조파 유입량이 정격전류의 120% 이하(제5고조파 35% 이하)로 하고, 접속점의 전압 왜곡률이 3.5% 이상(리액터의 값이 6%일 경우) 포함되지 않도록 한다.
- 3) 직렬리액터가 없는 경우, 콘덴서의 최대 사용전류는 그 충전전류 고조파가 포함되어 있는 경우, 그 합성전류의 실효값이 정격전류의 135%(KSC 4806) 이내라고 규정되어 있다.
- 4) 저압측에 설치하는 경우는 저부하시에 전압상승을 초래하기 때문에 필히 자동역률조정장치를 취부한다.

5) 전력용 콘덴서의 사용을 최대한 억제하는 방법과 유도전동기 대신에 동기전동기의 채용을 적극 도입하는 방법을 검토한다.

■ 추가 검토 사항

☞ 공학을 잘 하는 사람은 수학적인 사고를 많이 하는 사람이란 것을 잊지 말아야 한다. 본 문제에서 정확하게 이해하지 못하는 것은 관련 문헌을 확인해 보는 습관을 길러야 엔지니어링 사고를 하게 되고, 완벽하게 이해하는 것이 된다는 것을 명심하기 바랍니다. 상기의 문제를 이해하기 위해서는 다음의 사항을 확인바랍니다.

1. 한국산업규격에서 정하고 있는 전력용콘덴서의 허용 최대사용전류의 기준을 찾아 확인해 본다.

전 압 구 분	규 격	최 대 사 용 전 류	
		직렬리액터 무	직렬리액터 유
저압회로용	KS C 4806, 4801	130% 이하	120% 이하 제5고조파 35% 이하
고압회로용	KS C 4806, 4802	고조파 포함 135% 이하	120% 이하 제5고조파 35% 이하
특별고압회로용	KS C 4806, 4801	고조파 포함 135% 이하	120% 이하 제5고조파 35% 이하

2. 역률의 의미를 정확히 알고 있어야 하고, 역률을 개선하기 위해서 전력용콘덴서를 설치하게 되는 데, 최근에는 비선형부하의 사용 증가로 인하여 역률이 더욱 영향을 받고 있다. 이러한 특성에 대하여 정확하게 알고 있어야 한다.

[참고문헌]

1. 김하연 외, 고조파 사용실태 조사 및 개선방안 연구, 에너지관리공단, 2002
2. <http://www.psdtech.com>
3. 한국산업규격 KS C 4806