

## Photovoltaic Power Generating System

# 전력계통 고조파 대책과 역률개선 기술

전력용 콘덴서는 무효전력을 보상하여 역률을 개선하기 위해 전력계통에 없어서는 안 될 기기이다. 콘덴서는 본래 절연 신뢰성이 높은 기기인데, 고조파 발생부하로 싸이리스터 응용기기가 광범위하고 다양하게 사용됨에 따라 콘덴서 설치와 운용을 잘못하면 전력계통에 과대한 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. 본론의 구성은 전력계통에서 이해하기 어려운 고조파 관련 기술을 학습한 후, 무효전력제어와 역률개선 기술을 해설하고자 한다.

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

$nX_L - X_C/n < 0$ 일 때, 콘덴서 회로의  $n$ 차 고조파 리액턴스가 고조파 전류에 대해 용량성(-j)이 되면 전원측 또는 콘덴서 설비에는 부하가 발생하는 고조파 전류량  $I_n$ 보다 큰 고조파 전류가 흐르게 된다. 특히 직렬리액터가 없는 콘덴서가 설치되어 있으면, 비교적 저차의 고조파로 공진을 일으켜 고조파 왜곡을 증대시킴으로써 콘덴서의 고장 또는 다른 기기의 손상, 오동작을 초래하는 경우가 있다.

$nX_L - X_C/n > 0$ 일 때, 유도성 부하가 되므로  $i_{sn}$ ,  $i_{cn}$  모두  $i_n$ 보다 작아진다. 특히 콘덴서에겐 중요한 것은 전원과 콘덴서 회로의 고조파 임피던스가 고조파 전류에 의해 병렬 공진을 일으키는 경우이다.

병렬 공진이 생기면  $nX_s + nX_L - X_C/n = 0$ 이 되므로  $i_{sn}$ ,  $i_{cn}$ 이 모두 이상하게 확대되어 고조파 전류의 증폭뿐만 아니라 계통 전체에 대해 고조파 전압의 왜곡이 생긴다. 고조파 전압왜곡은 전력계통을 통해서 모든 수요자에게 영향을 주어 기기의 과열 및 수명저하를 초래한다.

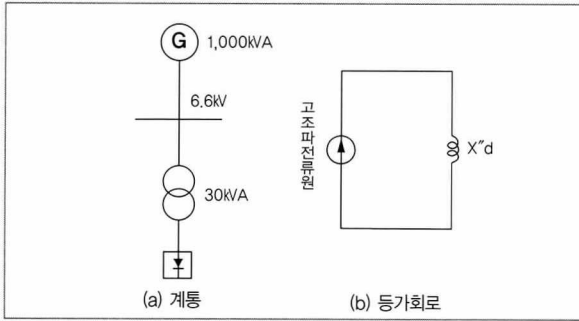
일반적으로 직렬리액터부의 콘덴서는 이런 문제를 없애기 위해 고조파에 대해 유도성이 되게끔 리액터를 선정하

는 것이다. 때로는 직렬리액터가 있는 콘덴서도 문제를 일으키는 경우가 있으므로 주의를 요한다.

## 2.2 고조파 예측

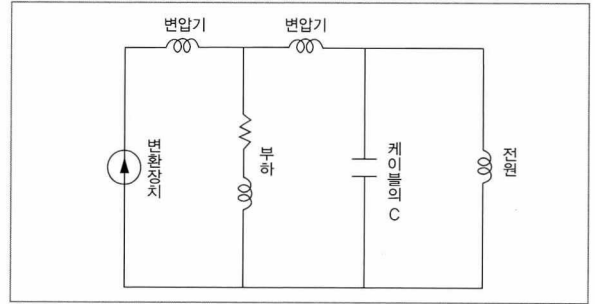
고조파 발생부하를 함유한 계통에서 그 발생고조파로 인한 계통의 전압왜곡, 혹은 계통의 이상공진현상을 예측할 필요가 있다. 계통의 고조파 함유율이 작아도 계통의 전력케이블, 역률개선용 콘덴서의 영향으로 공진현상이 일어나면 계통의 전압왜곡은 매우 확대되어 고조파 발생기인 정류기 등이 발생하는 고조파 전류보다 큰 고조파 전류가 계통의 전력케이블, 콘덴서 사이를 순환하는 수도 있다.

즉, 고조파를 발생하는 부하를 계통에 접속할 때, 혹은 자가발전이 정류기를 접속할 때는 고조파의 해석이 필요하다. 송전선, 케이블이 긴 경우에는 분포정수로서 다룰 필요가 있다. 전압 파형의 왜곡은 그림 5의 계통에 대하여 구함으로써 이해를 돕고자 한다.



【그림 5】 고조파 발생 계통

조파 임피던스에 따라서 분류하여 계통의 각부로 흘러가므로 기본적으로는 계통의 임의의 점을 흐르는 전류는 변환기에서 발생하는 전류보다 작아지는 것이 보통이다.



【그림 6】 계통의 등가회로

**[예제1]** 그림5에 표시하는 회로의 전압왜곡을 구하라.  
단, 고조파 전류 함유율은  $I_5=18\%$ ,  $I_7=12\%$ ,  $I_{11}=5.9\%$ ,  $I_{13}=4.2\%$ ,  $I_{17}=2.1\%$ ,  $I_{19}=1.5\%$ 로 하고,  $x_d'=20\%$ , at 1000kVA Base로 한다.

**[해설]** 발생 고조파 전류의 기본파 전류치는

$$I_1 = \frac{300 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6.6 \times 10^3} = 26.2 [\text{A}]$$

이므로, 각 차수의 고조파 전류는

$$I_5=4.7\text{A}, I_7=3.1\text{A}, I_{11}=1.4\text{A}, I_{17}=1.1\text{A}, I_{19}=0.55\text{A},$$

$I_{13}=0.4\text{A}$ 가 된다.

발전기의 리액턴스는 1000kVA 베이스로 0.2PU이므로

$$w_o L = \frac{x_d' V^2}{P} = \frac{0.2 \times (6600)^2}{1000 \times 10^3} = 8.7 [\Omega]$$

을 얻는다.

고조파 전압왜곡은 수식(11)과 같이 주어지므로

$$V_n = n w_o L \cdot I_n \dots \dots \dots (11)$$

각 차수의 고조파 전압왜곡을 구하면(상전압)

$$V_5=205[\text{V}], V_7=189[\text{V}], V_{11}=134[\text{V}], V_{13}=125[\text{V}],$$

$$V_{17}=82[\text{V}], V_{19}=66[\text{V}] \text{가 된다.}$$

변환기에서 발생하는 고조파전류는 계통 또는 부하의 고

가공선 및 케이블에 의한 대지정전용량, 진상용 콘덴서 등의 용량성 리액턴스와 송전선, 변압기 등의 누설임피던스 및 회전기의 임피던스 등과의 유도리액턴스가 병렬공진 현상을 일으키면 공진주파수의 고조파 성분의 전압왜곡이 대폭적으로 커지는 수가 있다. 따라서 변환장치의 설계계획에 있어서 이러한 공진현상이 발생하느냐의 여부를 예측할 필요가 있는 것이다.

또한 특수한 예로는 큰 대지정전 용량을 지닌 케이블 등에서도 비교적 고차의 고조파에 대해 확대현상이 발생되어 문제가 되는 경우가 있거나 특고압 배전계통에서 통신선에 유도잡음을 발생시키는 사례도 있으므로 주의할 필요가 있다.

**[예제2]** [예제1]에서 발전기와 정류기 사이에 정전용량 0.2 $\mu\text{F}/\text{km}$ 인 케이블 600m로 접속했을 때의 병렬공진 주파수를 구하라

**[해설]** [예제1]에서  $w_o L=8.7\Omega$  이므로,  $L=23\text{mH}$ , 정전용량  $C=0.2 \times 0.6=12\mu\text{F}$  이다. 공진주파수는

$$f_o = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} [\text{Hz}] \dots \dots \dots (12)$$

로 주어지므로

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{23 \times 10^{-3} \times 0.12 \times 10^{-6}}} = 3030[\text{Hz}]$$

가 된다.

**[예제 3]** 630kVA 변압기 보상용 콘덴서로 변압기 용량의 5%를 고려하여 30kvar로 선정하였다. 변압기의 %임피던스를 6%라고 할 때, 병렬공진 주파수를 계산하여라.

**[해설]** 병렬공진 주파수를 구하는 수식은,

$$f_{res} = \sqrt{\frac{T_{kva} \cdot 100}{Q_C \cdot \%Z}} \text{ 에서}$$

$$f_{res} = 60 \sqrt{\frac{630 \times 100}{30 \times 6}} = 1122.5[\text{Hz}] \text{ 가 되므로,}$$

만일 계통에 제 19차(1122.5/60) 고조파 전류가 나타나는 경우는 공진현상으로 이상 확대될 수가 있다.

### 3. 고조파 대책 기술

#### 3.1 대책기술

고조파 대책 기술은 여러 가지가 있으나, 여기서는 콘덴서 기술과 관련된 내용을 다루고 있으므로, 상세 내용을 해설하기 이전에 기본 방향에 대해서 설명한다. 고조파는 전원측과 콘덴서의 리액티브 특성에 따라 직렬공진 또는 병렬공진을 일으키는 경우 많은 영향을 미친다. 대책기술은 다음과 같다.

##### 1) 직렬리액턴스 설치(Detuned filter circuit)

이 방식은 콘덴서로 유입하는 고조파 전류를 억제하기 위해 직렬리액턴스를 삽입하여 콘덴서를 보호하는 것이다. 일반적으로 콘덴서를 보호하기 위한 방식으로 널리 사용되고 있으나, 최근에 콘덴서 소손사고가 증가하고 있다. 따라서 변압기 군별 고조파 부하가 전체부하의 60% 이

상으로 많은 설비는 강화된 Type(Strongly detuned filter circuit) 이나, 동조 필터(Tuned filter circuit) 또는 Active filter 를 적용하는 것이 고조파 대책에 효과적이다.

##### 2) 동조 필터(Tuned filter circuit)

변압기 군별 고조파 부하가 전체부하의 60% 이상으로 많은 설비는 Detuned filter 방식을 적용하는 것보다 Tuned filter 방식을 적용하는 것이 효과적이다. Tuned filter 는 리액턴스와 콘덴서의 직렬공진회로를 이용하여, 차수별 고조파 전류를 흡수하여, 약 90%정도 제거할 수 있으며, 동조 필터회로는 고조파 함유에 따라서 다음과 같이 용량을 분리할 수 있다. 그림 7의 (a)는 동조필터를 나타낸 것이다.

- 제 5 고조파 : 전체 용량의 50%
- 제 7 고조파 : 전체 용량의 25%
- 제 11 고조파 : 전체 용량의 12.5%
- 제 13 고조파 : 전체 용량의 12.5%

##### 3) 능동 필터(Active filter)

능동 필터는 모든 차수 고조파 전류에 대하여 효과적이다. 계통의 고조파를 검출하여 반대 위상의 고조파를 발생 시킴으로써 서로 상쇄가 된다. 효과 측면에서 가장 우수한 방식이지만, 비용이 고가이므로 타당성 검토와 유지관리에 주의할 필요가 있다. 대응량은 매우 고가이지만, 소용량의 경우 비용대비 설치효과가 우수한 경우가 있다.

예를 들어 UPS의 중요성은 더 이상 언급할 필요가 없으나, UPS 출력측의 전원품질이 좋지 못하다는 사실은 매우 중요한 예이다. 플랜트나 중·대형 건축물의 신경과도 같은 중요부하에 전원을 공급하는 UPS 부하는 단상부하를 주로 사용하며, 부하측에서 발생하는 제3고조파 전류에 의해 전압의 파형은 Plat topping이 생기는 예가 대부분이다. AC/DC 변환부의 교류입력 전압파형 왜곡은 기기의 수명을 단축시키거나, 직접적인 트러블 요인이 될 수 있다.