

전기설비에서 고조파 발생 원인과 대책

宋 彦 彬

(大林專門大 電氣科 教授)

1. 머리말

최근의 전기설비에서는 전자기술의 발전에 따라 많은 반도체를 사용하고 있으며 이에 따라 비선형 부하들이 급증하고 있다. 배전 계통에서 부하 임피던스에 따라 부하전류가 흐르기 때문에 비선형 부하들은 기본파 이외에 고조파들을 발생시키는 원인이 되고 있다. 현대 건물에서는 건물 자동화, 사무 자동화, 정보통신용 전원으로 무정전 전원장치가 필수적으로 시설되고 있으며, 각종 산업분야에서는 전동기 가변속 구동용 인버터(Inverter)가 많이 채택되고 있다. 또한 사무자동화를 위한 컴퓨터 부하도 증대하고 있다. 무정전 전원장치나 전동기 가변속 구동장치는 전력 변환기인 인버터를 사용하게 된다. 인버터는 전압 및 주파수를 바꿀 수 있는데, 이 경우 상용 전원인 60 [Hz] 주파수 이외에 원하지 않는 고조파 성분이 포함되게 되어 다른 부하기에 영향을 주게 된다.

배전계통의 변압기나 대규모 배전선로 등은 유도성이 되며, 부하설비가 용량성이 되는 경우 공진 조건이 성립하면 이 고조파 전류는 더욱 증폭되어 각종 계전기 오동작, 정밀 전자기기의 동작 불량, 기기 손상 및 과열의 원인이 될 수 있다. 전기설비는 그 규모가 커지게 되면서 고조파 전류, 전압맥동, 전계, 자계 등의 전자기 현상에 의

한 교란을 받게 된다. 따라서 양질의 전원 즉 주파수, 전압 등이 안정되어야 전기설비의 기능을 만족할 수 있다.

따라서 본 고에서는 고조파 발생 원인과 고조파에 대한 효율적인 대책을 알아보려고 한다.

2. 고조파 발생 요인

배전계통에 연결된 비선형 부하에 의하여 파형이 찌그러짐이 발생할 수 있으며 다른 부하에 영향을 미치게 된다. 사무 자동화 기기, 무정전 전원공급장치, 형광등, 전동기 속도제어용 인버터 등의 부하들은 기본파인 60 [Hz] 전원이외에 고조파를 함유한 부하전류를 흐르게 한다.

각종 사무 자동화 시스템은 비선형 부하이며, 여기에서 발생하는 고조파 전류는 전원계통의 전압 왜곡을 일으키며, 발생원의 내부 임피던스와 전기설비의 임피던스가 공진조건을 만족하면 고조파 전류는 증폭되어 전자유도장애를 일으킨다. 전력 변환기를 이용한 부하기기가 고조파 발생원이 될 수 있으므로, 수 % 에 가까운 전압 왜형이 수전점에서 발생할 가능성이 있다. 공진을 일으키기 쉬운 진상 콘덴서와 역상전류를 일으키는 유도전동기 부하에서는 특히 주의를 요한다.

정현파 전압을 인가한 경우에도 부하에 흐르는

전류는 부하에 따라 비정현파의 전류가 흐를 수 있다. 고조파 전류가 발생하면 배전계통으로 확산되게 된다.

배전계통에는 일정한 내부 임피던스를 보유하고 있으므로, 부하전류가 흐르는 경우 수전단의 단자전압은 저하한다. 배전계통의 어느쪽에 단락이 발생한 경우 이것에 의하여 단락전류가 흐르게 된다. 여기에 선형 부하가 접속되어 있는 경우 정현파 전류가 흐르면 회로 임피던스에서 전압강하도 정현파가 된다. 수전단의 전압 진폭과 위상에 편차가 생길 수 있으나 파형의 찌그러짐은 발생하지 않는다. 그러나, 철심을 가진 리액터, 형광등과 같은 비선형 부하를 접속하는 경우에는 회로에는 비정현파전류가 흐르고, 회로 임피던스에 의하여 비정현파 전압강하가 발생하고, 그 결과 수전단의 전압을 찌그러뜨리게 된다. 배전회로에는 다수의 부하가 접속되어 있으므로 개별부하에 의하여 다른 부하에 장애를 주는 것은 방지하여야 한다.

전력 변환장치의 경우 입력부를 구성하는 정류기도 비선형 부하로 배전계통에 접속하면 전압 파형을 찌그러뜨리는 주요한 원인이 되기도 한다. 이밖에도 시동전류가 큰 전동기, 아크로, 인버터, 무정전 전원공급장치의 입력측 브리지 정류기도 고조파 발생원이 되고 있다.

수용가측에서 이러한 고조파들에 의하여 영향을 주로 많이 받는 전기설비는 통계에 의하면 역률 개선용 콘덴서 및 그 부속설비가 가장 많고, 전동기용 개폐기, 텔레비전 및 오디오 기기와 같은 가정용 전기기기, 승강기나 전동기, 자가발전장치 등으로 분석되고 있다.

고조파 전류가 유입하는 경우 직접적인 영향이 외에도 각종 전기설비 및 기기의 온도상승이 높아지고 절연물의 수명도 저하하게 된다. 인텔리전트 빌딩, 주택 자동화 시스템 등에서 전력선 반송방식의 통신을 행하는 경우 신호 주파수의 선택에도 제약이 따르게 된다.

따라서 전력선에서 고조파 전류의 크기는 일정 레벨이하로 억제하여야 한다. 배전계통에서 발생한 고조파 전류는 전력 시스템의 내부 임피던스의 성질에 따라 다른 계통의 전기설비로 전달

되게 된다. 저차 고조파 성분이 다른 전력계통으로 파급되면 전압 맥동의 원인이 되기도 한다.

표 1은 3상 정류기의 출력파형별 고조파 성분을 분석한 결과이다.

표 1. 정격부하전류에 대한 정류기의 고조파 전류
단위 : %

고조파 차수	6 펄스	12 펄스	24 펄스
5차	17.5	2.0	2.0
7차	11.0	1.5	1.5
11차	4.5	4.5	1.0
13차	3.0	3.0	0.75
17차	1.5	0.2	0.2
19차	1.25	1.15	0.15
23차	0.75	0.75	0.75
25차	0.75	0.75	0.75

각 고조파 전류 발생원에서의 고조파 전류의 계산은 비교적 용이하게 구할 수 있으나 고조파 전압의 계산은 회로망 임피던스의 불명확하면 곤란하게 된다. 전동기 가변속 구동용 PWM (Pulse Width Modulation) 인버터의 출력파형의 주파수 스펙트럼을 분석해보면 그림 1.과 같이 기본파 성분 이외에 고조파 성분을 함유하게 된다.

3. 고조파 장애

일정 전압 및 일정 주파수의 전원을 다른 전압

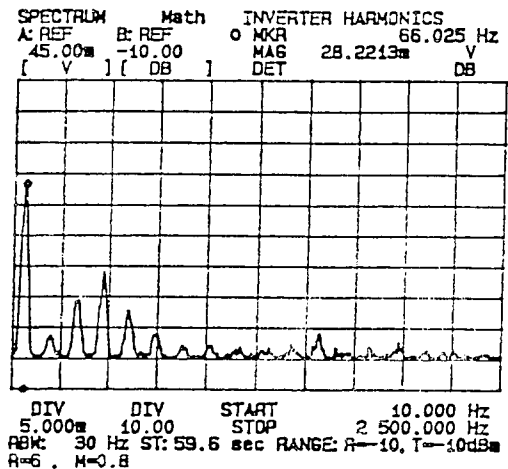


그림 1. 인버터의 주파수 스펙트럼

및 다른 주파수로 바꾸려면 전력변환기인 인버터를 이용하여야 한다. 이 경우 원하는 주파수의 전원 이외에 고조파 성분을 포함하게 된다. 배전계통에서 다수의 고조파 전류원이 접속된 경우 고조파 전류의 위상에 따라 그 크기가 커지기도 하고 약해지기도 한다. 전력 변환기에서 발생하는 고조파 전류의 위상은 변환기의 위상 제이각에 의하여 결정되므로 부하조건에 따라 변화한다. 사무 자동화용 컴퓨터들은 콘덴서 입력형 정류회로가 내장되어 있어 전류가 펄스형태로 되어 전원전압의 최대값과 상호 중첩되는 경우 고조파 성분이 커지는 경우도 있다. 불특정 다수 기기에서 발생하는 고조파 전류는 내부 임피던스에 따라 달라지며 이 고조파 전류는 또다른 부하계통에 영향을 주게 된다.

인버터는 직류전력을 교류전력으로 변환해야 하므로 스위칭 특성에 의하여 출력측에 고조파가 필연적으로 함유하게 된다. 따라서 인버터는 고조파 전류원으로 작용하여 상용 전원계통 및 부하계통에도 영향을 미치게 되는데 과도한 고조파 전류의 유입으로 계통에 연결된 콘덴서에 과전류로 인한 과열과 각종 전자제어 장치의 오동작 원인이 된다.

표 2. 각종부하의 고조파 발생량

고조파 차수	UPS [%]	일반 인버터 [%]	PWM 컨버터 [%]	형광등 [%]
2				2.1
3			1.2	1.6
5	18.5	79.3/ 48.7	2.0	5.1
7	12.0	62.2/ 27.5	2.0	1.3
9				1.9
11	6.0	27.4/ 8.5	1.5	
13	4.5	15.1/ 7.1	0.5	
17	2.0	8.5/ 4.2		
19	0.4	8.1/ 3.6		
23	0.9	4.5/ 2.5	0.6	
25	0.8	3.6/ 2.2		
29		3.3/ 1.4	1.5	
31		2.8/ 1.5	1.9	
35		1.9/ 1.1	1.4	
37		1.9/ 1.1	0.5	

주 : 1) 인버터는 교류 리액터가 없는 경우 / 있는 경우이다.

2) 기본파 전류를 100%로 한 경우이다.

발생된 고조파 전류는 선로의 용량성 및 유도성 임피던스로 인하여 공진현상이 발생하게 되는데, 공진현상이 발생하면 고조파 전류는 증폭되며 진상 콘덴서, 변압기, 발전기, 전동기, 각종 조명설비에는 과도한 전류가 흘러 기기의 과열, 소손이 발생할 우려가 있다. 그림 2는 공진현상을 일으키는 배전계통을 나타낸 것이다.

공진주파수 f_r 은 단락회로의 인덕턴스를 L_s 이라고 하면 (단락 리액턴스 $X_s=2\pi f L_s$)

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C}}$$

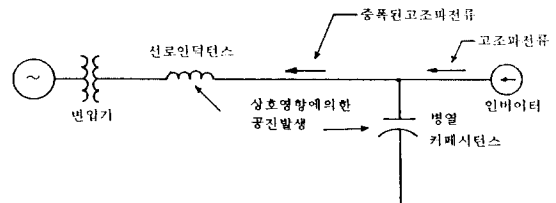


그림 2. 공진현상의 발생

여기서 배전전압을 V 라고 하면 단락용량 S_s 은

$$S_s = \frac{V^2}{2\pi f L_s}$$

선로에 접속된 진상 콘덴서 용량 $Q_c=2\pi f C V^2$ 이므로

$$S_s = \frac{1}{Q_c} = \frac{1}{2\pi f L_s \cdot 2\pi f C}$$

여기서 부하측의 변압기용량을 S_T 라 하고 피센트 임피던스를 Z 라 하면, 공진 주파수는 $f_r = f_s \sqrt{\frac{100S_T}{Q_c Z}}$ 로 구할 수 있다. 공진주파수는 배전계통의 진상 콘덴서의 설치상황이나 운영상황의 변화에 따라 변하게 된다. 일반적으로 저압측에 진상콘덴서를 설치하는 것이 바람직 하다.

고조파 전류에 의한 공진현상의 억제 대책은 콘덴서 용량의 변경, 직렬리액터의 추가설계, 교류필터의 추가설계, 발생 고조파 전류의 억제, 전원계통 구성의 변경 등이 있다.

인버터에서 발생하는 $\frac{dV}{dt}$ 는 선로 및 기기의 대지정전용량으로 인하여 $C \frac{dV}{dt}$ 의 전류를 흐르게 한다. 이 전류가 영상전류로 된다. 인버터가 있는 계통에 필터가 있게 되는데, 이 필터용 콘덴서를

통하여 영상전류가 흐르기 때문에 누전차단기와 같이 감도가 예민한 기기들은 오동작하게 된다. 고조파 영상전류는 고조파 잡음의 발생원이 되어 유도장애의 원인이 되고 있다.

영상전류의 발생을 억제하기 위한 대책은 선로 및 기기의 대지정전용량 저감, 영상 임피던스를 부가하여 영상전류 억제, 영상전류의 경로 차단 등이 있다. 배선계통에서 고조파 장애를 분석하고 예측하려면 전체적인 배선계통을 분석하여야 한다. 이 경우에는 고조파 발생원과 고조파 영향을 받기 쉬운 기기들과의 전체적인 연관성을 살펴보아야 한다. 고조파의 영향을 종합적으로 파악하기 위하여 고조파 전류는 고조파 발생지점을 시작점으로 하여 임피던스가 작은 쪽으로 흐르려는 특성이 있다. 이 경우에 역률 개선용 콘덴서가 가장 영향을 받기 쉬우므로(영향을 받는

기기의 약 70〔%〕 정도를 차지함), 이 부분에 대해서 중점적인 검토가 필요하다.

역률 개선용 콘덴서에 직렬 리액터를 시설하지 않은 상태에서 고조파 발생원이 있는 계통에 설치한 경우 이상이 발생한 경우가 많다. 직렬 리액터는 콘덴서 용량의 6~8〔%〕 정도를 고려하는 것이 고조파 대응책으로 필요하다. 표 3은 고조파 장애를 받기 쉬운 기기들이 피해 내용을 요약한 것이다.

(1) 고조파에 의한 과전류

고조파에 의하여 전류 실효치의 증대로 저항손실, 유전손실이 증대하여 전기기기들을 과열시키는 원인이 되고 있다. 변압기나 리액터 등 권선으로 구성된 기기와 진상용 콘덴서 등이 영향을 받는다. 고조파에 의한 누설전류의 증대로 철손의 증가, 기기의 과열, 이상음, 진동 등 변압기나

표 3. 고조파 장애의 피해 내용

기 기 명	피 해 내 용
콘덴서 및 리액터	고조파 전류에 의한 임피던스와 공진현상 발생에 따른 과대전류가 흘러 과열, 소손, 여러가지 진동, 이상음 등이 발생
변 압 기	고조파 전류에 의하여 철심의 자기찌그러짐에 의하여 소음이 발생하고, 철손 및 동손의 증가에 따라 용량이 감소
형 광 등	고조파 전류에 의하여 과대전류가 역률 개선용 콘덴서 및 쇼크 코일에 흘러 과열, 소손 등이 발생
케 이 블	3상4선식의 회로의 중성선에 고조파 전류가 흐르는 경우에는 중성선이 과열
통 신 선	전자유도에 의하여 잡음전압이 발생
유도전동기	고조파 전류에 의하여 진동 토크 발생에 따라 회전수가 주기적으로 변동되고, 철손 및 동손 등 손실이 증감
계기용 변성기	계기용 변성기에 초기 위상오차가 있는 경우, $\pm \delta \tan \phi$ (ϕ 는 사이리스터 위상, 제어경우의 제어전류 위상각)의 영향에 따라 측정정밀도가 나빠짐
직산 전력계	전압, 전류 유효자속이 비선형 특성에 따라 측정오차 발생, 고조파 전류의 과대한 유입에 의한 전류코일 소손
보호계전기	위상 변화에 의한 오동작, 전류코일 소손
음향기기(텔레비전, 오디오, 라디오 등)	고조파 전류, 전압에 의한 다이오드, 트랜지스터, 콘덴서 등 부품의 고장, 수명저하, 성능저하, 잡음 및 영상 찌그러짐
컴 퓨 터	전원회로부의 과열, 계산기 동작에 악영향
정 류 기	제어신호의 위상 흔들림에 따른 오동작, 제어불능
전 력 퓨 즈	과대한 고조파 전류에 의한 용단
차 단 기	과대한 고조파 전류에 의한 오동작
비상용 발전기	회전자 제동권선의 과열, 소손 및 계자권선의 과열
지 시 계 기	평균치 정류형 교류전압, 전류계는 제3조파의 영향을 받기 쉽다.
발전소의 전기 가버너	주파수가 상승하고 발전기의 출력 감소
정보관련 기기	잡음에 의한 시스템 정지, 오동작
산업용 제어기기	오동작 및 제어 불능

리액터와 같이 철심을 가진 기기들이 영향을 받는다.

(2) 고조파에 의한 유도장해

전자유도에 의한 유도 노이즈에 의하여 전자회로의 오동작, 잡음 등을 발생시키는 것으로 마이크로 컴퓨터와 같이 고속으로 동작하는 전자부품으로 구성된 기기, 센서, 라디오, 텔레비전, 오디오 등이 이 원인에 의하여 영향을 받을 수 있다.

(3) 고조파에 의한 전압파형의 찌그러짐

동기회로의 위상 변화로 사이리스터, 트라이액 등과 같은 전력용 반도체 소자로 구성된 위상제어장치들이 오동작, 불안정 운전 등의 원인이 되고 있다.

4. 파형 왜형을 산출

공기조화 시스템이나 엘리베이터 또는 각종 산업용 전동기 등에 가변속 제어가 필요하며, 이 경우 인버터는 가변 전압, 가변 주파수 전원을 공급하게 된다. 이때 인버터의 성능 지표는 고조파 전류율(HCF : Harmonic Current Factor)에 의하여 표현한다. k차 고조파 전압 V_k 에 의하여 교류기에서의 고조파 전류 I_h 는 다음과 같이 된다.

$$I_h = \frac{V_k}{2\pi f L_r}$$

여기서, L_r 는 교류기의 상당 누설 인덕턴스이다. 상전압 V_{an} 의 기본파 성분은 V_1 이라 하면 원하지 않는 고조파 전류의 총합의 백분율 $I_h(s)$ 은 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$I_h(s) = \frac{I_h}{I_1} \times 100 = \frac{P_1}{2\pi L_r I_1} \frac{100}{V_1} \sqrt{\sum_{k=3}^{\infty} \left(\frac{V_k}{k}\right)^2}$$

여기서, $P_1 = \frac{V_1^2}{f}$ I_1 = 교류기의 정격전류

가변속 구동시 인버터의 성능지표인 HCF는 다음과 같이 정의한다.

$$HCF = \frac{100}{V_1} \sqrt{\sum_{k=3}^{\infty} \left(\frac{V_k}{k}\right)^2}$$

따라서, 인버터의 출력 파형에 포함된 고조파 성분의 수준을 HCF로 관리할 수 있다.

인버터를 무정전 전원장치에 이용하는 경우에는 THD(Total Harmonic Distortion)를 낮추어야 한다. THD를 요구조건에 맞추기 위하여 일반적인 인버터의 출력측에는 L-C 필터를 채택하게 된다. 인버터와 같은 전력변환기의 출력전압을 V_k 라 하고, L-C 필터의 출력전압을 V_k' 라 하면, THD는 다음과 같이 정의한다.

$$THD = \frac{100}{V_1} \sqrt{\sum_{k=3}^{\infty} (V_k')^2}$$

필터 공진 주파수를 $\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ 이므로

상수 $A = \frac{\omega_r}{\omega}$ 이라고 하면, 정의된 식에 의하여

THD는 다음과 같다.

$$THD = \frac{100}{V_1} \sqrt{\sum_{k=3}^{\infty} \left(\frac{A^2 V_k}{k^2 - A^2}\right)^2}$$

k는 고조파 차수이며 k가 충분히 커지면 $k^2 - A^2 \approx k^2$ 이 되므로, 다음과 같이 단순화 시킬 수 있다.

$$THD = A^2 \frac{100}{V_1} \sqrt{\sum_{k=3}^{\infty} \left(\frac{V_k}{k^2}\right)^2} = A^2 DF$$

여기서, DF(Distortion Factor)는 다음과 같이 정의한다.

$$DF = \frac{100}{V_1} \sqrt{\sum_{k=3}^{\infty} \left(\frac{V_k}{k^2}\right)^2}$$

5. 고조파의 관리

고조파를 관리하기 위해서는 계통에 유입하는 고조파 전류의 허용 수준으로 관리하는 방법과 부하의 접속점에서 고조파 전압의 허용 수준으로 관리하는 방법이 있다.

고조파 전류에 의한 방법은 부하기기 또는 수요가에서 전력계통에 유입하는 고조파 전류의 최대 허용값을 정하고, 일정값을 초과하는 것은 전력계통에 접속하지 못하도록 관리하는 방법이다. 이 방법의 특징은 전력계통의 상황에 관계없이 기기 및 수용가측의 고조파 전류의 발생량이 허용값이내에 있는지 여부에 따라 관리하기 때문에

운용이 용이하고 수용가측에서도 공평한 측면이 있다. 그러나 허용값이하의 고조파 발생원은 무제한 전력계통에 접속할 수 있으므로 전력계통의 고조파 왜율이 허용수준을 넘을 수도 있다.

고조파 전압에 의한 방법은 수용가에 새로운 고조파 발생원을 시설하려는 경우, 설치 후의 수용가와 전력계통과의 접속점에서 전압왜율이 허용수준을 초과하지 않을 것으로 예측되는 경우에만 전력계통에 접속을 허용하는 것이다. 이 방법은 계통의 전압 왜율을 직접 관리하기 때문에 고조파가 허용수준으로 초과하지 않는다. 그러나 계통의 전압왜율이 고조파 허용수준에 근접하게 되면, 고조파 발생원을 접속할 수 없으므로 같은 부하 기기들을 가지고 있는 수용가라도 접속 시점에 따라 고조파 허용수준이 달라지게 되어 수용가측에 불공평한 측면이 있다. 따라서 고조파 허용 값을 사전에 예측하여야 하므로 수용가측에서 직접 판단하기가 어렵고, 운영하기에도 어려움이 따르게 된다.

전압 고조파 왜형률의 일반적인 관리수준은 특고계통에서는 3[%]이하, 고압계통에서는 5[%]이하를 기준으로 하고 있다. 일본에서는 계통전압 파형왜율의 억제 목표값은 표 4와 같이 정하고 있다.

표 4. 계통전압 파형왜율 억제 목표

		단위 : %									
차 수		3	5	7	11	13	17	19	23	25~39	계
배전계통		3.0	4.0	3.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0	5.0
특고계통		2.0	2.5	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5	3.0

IEC의 제 77기술 위원회에서 저압 배전계통에 적용하고 있는 고조파의 허용 레벨을 표 5와 같이 정하고 있다.

표 6은 고압 또는 특별고압을 수전하는 수요가의 고조파 유출전류 상한값에 대한 외국의 적용 예를 나타낸 것이다.

6. 고조파의 대책

6.1 발생원측의 대책

전력변환 장치의 정류회로를 개선하기 위해서

는 PWM(Pulse Width Modulation) 제어방식을 채택하여 고 주파수화하고, 사이리스터의 도통시 제어지연각 저감, 커뮤테이션(Commutation)용 리액턴스의 증대, 제어각의 상간 불평형 저감, 교류 전압의 상간 불평형 저감 등의 대책이 필요하다.

전력변환장치의 다상화에는 사이리스터 제어 장치에 의하여 펄스 수를 증대시키거나, 복수대의 전력변환 장치간의 위상차를 이용하는 방법이 있다.

고조파를 흡수하는 방법은 LC 필터를 설치하는 것으로 리액터와 콘덴서로 직렬 공진회로를 구성하고 고조파를 흡수하는 것이다. LCR필터는 L과 R의 병렬회로에 C가 직렬로 접속되어 넓은 주파수 대역에서 저저항으로 되게 된다.

액티브 필터는 임의의 파형을 발생할 수 있는 인버터를 이용하여 고조파 전류를 제거하기 위한 전류를 전력계통에 주입하는 것이다. 주입하는 고조파 전류는 전원과는 유효전력을 형성하지 않

표 5. IEC의 고조파 허용레벨

고조파 차수	고조파 전압[%]
2	0.3
3	0.85
4	0.2
5	0.65
7	0.6
9	0.4
11	0.4
13	0.3
15	0.25

표 6. 단위 [kW]당 고조파 전류 억제 목표

단위 : (mA)

고조파 차수	5차	7차	11차	13차	17차	19차	23차	25차 이상
6.6[kV]	3.5	2.5	1.6	1.3	1.0	0.9	0.76	0.7
22[kV]	1.8	1.3	0.82	0.69	0.53	0.47	0.39	0.36
33[kV]	1.2	0.86	0.55	0.46	0.35	0.32	0.26	0.24
66[kV]	0.59	0.42	0.27	0.23	0.17	0.16	0.13	0.12
77[kV]	0.5	0.36	0.23	0.19	0.15	0.12	0.1	0.1
110[kV]	0.35	0.25	0.16	0.13	0.10	0.09	0.07	0.07
154[kV]	0.25	0.18	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.05
220[kV]	0.17	0.12	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03
275[kV]	0.14	0.10	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02

으므로 인버터의 직류측에는 전류원은 불필요하고 충전된 커패시터 또는 전류가 흐르는 리액터를 전류원으로 한다.

6.2 계통측의 대책

배전계통의 왜율을 저감시키는 방법으로는 배전선의 저항, 리액터를 저감시켜 공급점의 단락용량을 크게 한다.

일반적으로 단락용량과 정주기용량과의 관계는 다음과 같다.

$$P = \frac{\% V_n \times P_s}{n \times \% K_n}$$

- 여기서, P : 공급점의 단락용량
- P_s : 계통의 단락용량
- %V_n : 허용 고조파 전압
- n : 고조파 차수
- %K_n : 정격 부하전류에 대한 n차 고조파 전류비[%]

그런데, 계통 단락용량의 증대책에 대해서는 전력계통의 특성에 따라 고려하여야 한다. 또한 선로정수와 콘덴서 사이에 공진현상을 피하도록 배전계통의 절체, 변전소 뱅크의 변경에 따라서 선로정수를 변화시켜 공진상태를 피해야 한다.

그러나 이 방법은 장애방지의 근본적인 대책이 아니므로 긴급적인 대책으로 하고 고조파 발생원을 정확히 규명하여 조치하는 것이 바람직하다.

6.3 피해 기기측의 대책

고조파 장애를 받는 기기의 내량을 증대시켜야 하는데 콘덴서의 경우 콘덴서를 포함한 계통의 임피던스가 용량성이 되어 유입되는 고조파 전류가 증대하여 장애에 이르게 된다. 이 경우에는 직렬 리액터를 부설하여 유도성으로 하여 장애를 줄인다. 직렬 리액터의 용량을 증가시키면 고조파 내량은 증가한다. 일반적으로 콘덴서에 설치하는 직렬 리액터 용량은 콘덴서 용량의 약 8 [%] 정도를 선정한다. 이렇게 하면 제5고조파 전압 왜율은 3.5[%] 정도가 된다. 피해가 증가하는 계기, 전자기기는 절연 변압기를 개입시켜 계통에서 분리하는 것도 고려하여야 한다. 표 7은 전력용 콘덴서를 저압측에 설치하는 경우와

고압측에 설치하는 경우를 비교한 것이다.

표 7. 전력용 콘덴서의 설치 비교

비 교 항 목	저압측에 설치	고압측에 설치
배전계통 임피던스에 의한 공진현상	거의 없다.	가능성 있다.
고조파전류 유출 저감	가능·효과가 크다	효과가 적다
배전계통 전압왜율에 의한 고조파 장애	수전용 변압기의 리액턴스가 증가하면 저감	-
수요가측의 효과	무효전력이 변압기를 통과하지 않음	-
변압기의 용량저감	경우에 따라 가능	불가능
변압기의 손실저감	경우에 따라 가능	불가능
설 비 비	뱅크수에 따라 유리	표준
콘덴서 고장에 따른 보호	용이 확실	불확실
역률조정용 개폐기 수명	길다.(약20만회)	짧다.(약10만회)

6.4 예비전원설비의 고조파 대책

최근의 전원설비는 각종 컴퓨터, 통신시스템, 사무자동화기기에 대한 전원공급에 고신뢰도가 보장되어야 하므로 무정전 전원장치인 UPS(Uninterruptible Power Supply System)가 증가하고 있으며, 비상용 발전기도 상시 운전하여 에너지 수요 관리에 이용하는 사례가 증가하고 있다. 전력감시 시스템은 소형 컴퓨터를 다수 사용하고 있으므로, 정보기기를 포함하여 콘덴서 입력형 부하가 되고 있다. 따라서, 정보기기와 컴퓨터 부하에 대한 UPS는 출력특성에서 고조파 왜율이 5[%]이하인 PWM 인버터를 채택하여야 한다. UPS의 전원공급배선 및 각 제어기기에 대한 전원배선은 파형 찌그러짐을 고려하여, 전압감하에 여유가 있도록 설계하여야 한다.

자가 발전기에서도 고조파 전류 발생부하가 급속히 증가하고 있으므로 발전기 역상 전류 내량을 검토할 필요가 있다. 발전기에는 병렬운전시의 난조 방지 및 고조파 전류에 대한 전압파형 찌그러짐을 저감시키기 위하여 제동권선을 설치하고 있다. 발전기에 고조파 전류가 흐르면 계자극에 설치된 제동권선이 발열하여 계자권선이 소손하는 사고가 발생할 수 있다. 이를 방지하기

위하여 발전기에서 역상전류 내량을 증대시켜 계 동권선을 강화할 필요가 있다. 고조파에 대책으로 발전기의 역상전류내량은 약 15% 정도가 되어야 한다. 최근에는 외국에서는 약 25(%) 정도의 역상 전류내량을 갖는 발전기가 출현되고 있다.

발전기의 전압조정장치는 단자전압을 검출하여 전압제어를 행하는데 고조파 전류에 의하여 파형이 찌그러지므로 평균치와 실효치의 차가 커지게 된다. 따라서 평균치 검출형 자동전압 조정장치는 오차가 발생하기 때문에 실효치 검출형 자동전압 조정장치가 필요하게 된다. 또한, 기본 파성분이 저하하므로 부하의 출력 및 효율도 저하하므로 이에 대해서도 대비하여야 한다.

6.5 고조파 대책의 종합 방향

고조파 장애의 방지책으로 기기에서 고조파 전류 발생량을 억제하는 기본 원칙과 고조파 발생원에서 다른 부하기기로 고조파 전류의 흐름 억제 및 수요가측에서 대책, 계통측에서의 대책 등 다각적인 고조파 대책이 필요하다. 따라서, 고조파 문제 해결은 기기 제조자, 전력 수용가, 전력

회사가 상호 협력하여 합리적인 대책을 강구하여야 한다.

이런 측면에서 볼 때 전력계통에서의 고조파 환경수준, 고조파 전류 억제 목표값, 기기의 고조파 내량 수준 등에 대한 목표값이 하루빨리 설정되어야 할 것이다. 일반적으로 배전계통에서는 종합 파형왜율이 5(%)이내가 되는 것을 추천하고 있다.

불특정 다수 이용자가 사용하는 기기 등에 대해서는 이용자체가 개별적으로 고조파 대책을 마련하는 것은 곤란하므로 기기 제조자측에서 제품의 표준규격 중에 고조파 발생량에 대한 허용값을 정하고 제조자측에서 대응하는 것이 바람직할 것이다. 전력수용가에서는 반도체 응용기기, 아크로 등 특정설비를 가진 수요가는 전력계통측에 고조파 전류가 방출되지 않도록 어떤 수준 이하에서 관리되도록 하여야 한다. 전력회사측에서도 고조파 환경수준을 일정한 값으로 유지할 수 있도록 고조파 대책을 마련하고, 수용가측 입장에서 각종 고조파 장애를 사전에 방지할 수 있도록 하여야 할 것이다.

◇ 著 者 紹 介 ◇



송 언 빈(宋彦彬)

1953年 4月 23日生. 1977年 釜山大工大 電氣工學科 卒. 1984年 釜山大大学院 電氣工學科 卒(碩士). 1993年 中央大 大学院 電氣工學科 卒(博士). 韓國建設技術研究院 研究室長. 現在 大林專門大 電氣科 教授, 當學會 編修理事.