

# 저압 시스템에서 비선형 부하의 사용에 따른 전류 고조파 해석 및 측정

論 文  
50B - 12 - 3

## Analysis and Measurement of Current Harmonics Due to Non-linear Load in Low Voltage System

金宗謙\* · 李殷雄\*\*  
(Jong-Gyeum Kim · Eun-Woong Lee)

**Abstract** - The ever increasing density of adjustable speed drives(ASD) device with non-linear operating characteristics has been to put tremendous harmonic stress on end user's electrical application. All ASD controllers which employ solid state power devices cause harmonic currents in the source side line. This paper describes harmonic problems for use of ASD. In order to investigate the effect of harmonics caused by using of nonlinear load at the low voltage system, we fixed up simple load model and measured the voltage and current waveforms. Measurement results show that additional operation of linear load at the parallel bus with nonlinear load such as ASD is helpful to the reduction of harmonic influence.

**Key Words** : ASD, PWM, THD, Power Quality

### 1. 서 론

최근 들어 전력전자 기술의 급속한 발전에 따라 반도체사 용용 기기는 성능향상과 에너지 절약을 위해 가정용·업무용으로부터 산업용 및 공업용에 이르기까지 빠르게 그리고 널리 보급 이용되고 있다.

이와 같이 전력변환장치의 사용증가는 회로소자의 스위칭 기능에 의해 고조파(harmonics)가 발생하여 전력설비에 좋지 못한 영향을 미치고 있다. 특히 인버터와 같은 비선형 장치에서 발생하는 고조파가 전원측 및 부하측에 전달되어 기기 및 전원시스템의 신뢰성을 떨어뜨리는 전력품질 저하의 큰 요소로 작용하고 있다[1-5].

자가용 전기설비운전에 사용된 비선형부하(non-linear load)는 모두 고조파 전류 발생원이 되므로 기기에서 발생한 고조파 전류는 수전용 변압기를 거쳐 배전계통으로 유출되고, 다시 상위 계통으로 전달될 수 있다[1,5,6]. 그리고 이들 고조파 전류는 수용가 접속점의 단락임피던스를 기초로 구해지는 고조파 임피던스의 곱에 해당되는 고조파 전압강하를 발생하며 이로 인해 수용가의 정현파 공급전압에는 고조파 전압 변형이 발생할 수 있다[5,6].

전기에너지의 합리적인 운영과 효율적인 운전을 위해 유

도전동기에는 인버터로 가변속 제어를 실시한다. 그런데 인버터의 사용은 고조파 전류를 발생시켜 부하측 뿐만 아니라 전원측에 전파시키므로서 전력품질에 민감한 장비에 오동작을 일으킬 수 있다. 그리고 유도전동기에는 고조파 전류에 의한 손실 증가와 토크 맥동이 일어날 수 있다[1,3,4,7].

이와 같은 상황에서 전력품질의 질적 향상을 위한 방법으로는 비선형 기기에서 발생하는 고조파의 양을 줄이는 방법과 고조파에 대한 내량이 높은 기기를 제작하는 방법 그리고 고조파를 줄이기 위해 비선형 부하에 저감기기를 설치하는 방법이 있다[6]. 그런데 비선형기기에서 발생하는 고조파의 발생정도는 시스템의 상황에 따라 달라질 수 있기 때문에 정확한 대책을 마련하기가 어렵다. 그래서 주로 필터와 같은 저감기법을 사용하고 있다.

실제로 저압을 3상 동력 공급전원으로 사용하는 많은 시스템의 경우 선형 및 비선형 부하가 함께 연결되어 있다. 선형 및 비선형 부하를 단독으로 운전하는 경우도 있지만 대개 같이 사용할 경우가 더 많다. 저압 시스템에서 비선형 부하의 운전은 같은 시스템에 연결된 다른 부하에 미치는 영향을 찾아내고, 고조파를 줄일 수 있는 파라미터를 찾는 것은 전력품질의 향상에 도움이 되어 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 인버터와 같은 비선형 부하에서 발생하는 고조파가 전력품질의 미치는 영향을 알아보기 위해 간선에 인버터 가변속 유도전동기와 또 하나의 유도전동기를 추가로 연결하여 운전하면서 시스템에서 발생하는 고조파의 크기를 운전상황에 따라 측정하고 그 결과를 분석하고자 한다.

\* 正 會 員 : 國立 原州大 電氣科 助教授/工博

\*\* 正 會 員 : 忠南大 電氣工學科 教授/工博

接受日字 : 2001年 9月 4日

最終完了 : 2001年 11月 9日

2. 고조파의 발생, 영향 및 저감

2.1 고조파의 발생원인

전력시스템에 함유하는 고조파는 전력회사, 설비 제작자 및 수용가 모두가 해결해야 할 문제이다. 최근의 전력 반도체 기술이 이용된 산업설비의 비선형 부하는 전력변환 과정에서 고조파를 발생한다. 이 고조파는 과도적인 외란의 성격을 지닌 스파이크(spike), 서지(surge), 새그(sag), 임펄스와는 달리 전기회로에 연속적인 영향을 미치는 외란으로 전력품질저하의 큰 요소로 작용하고 있다[5-8].

기본 주파수의 전압이나 전류의 정수배가 되는 고조파 전류파형은 전압 파형과 같은 형상이 아닌 비선형 부하에 의해 발생되며, 대개 40~50차(수 kHz)까지이고 그 이상을 초과하는 것은 노이즈로 취급한다[1,3,5].

그림 1 은 비선형부하의 사용시 발생한 고조파 전류의 흐름도를 나타낸 것으로서 부하단에서 발생한 고조파 성분은 가까운 곳뿐만 아니라 상위계통에도 전달될 수 있다.

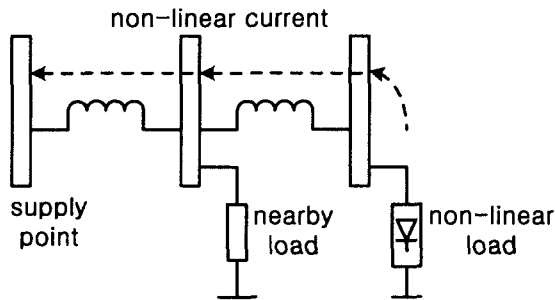


그림 1 고조파 전류의 전달경로  
Fig . 1 Path root of harmonics current

그림 1 에서와 같이 고조파를 발생시키는 부하의 경우 자체뿐만 아니라 다른 시스템에 그 영향을 미칠 수 있다. 이와 같은 고조파 왜형의 많은 부분은 수용가에 의해 사용되는 부하로부터 발생한다. 어느 수용가에서 사용되는 비선형 부하에 의한 고조파는 연결된 배전 시스템에서 공급받는 또 다른 수용가에 대해 고조파에 의한 영향을 미칠 수 있다[2].

가변속 드라이브의 컨버터에 의해 발생하는 고조파 차수 h 의 경우는 식(1)과 같이 드라이브의 펄스 수 p 와 관련이 있다[1].

$$h = np \pm 1 \tag{1}$$

인버터에 의한 전원측 선로에 전달되는 전류  $I_s$  는 식(2)와 같이 기본과 성분과 고조파 성분을 함께 포함하고 있다.

$$I_s = I_1 + \sum_{h=2}^{\infty} I_h \tag{2}$$

일반적으로 주기성분의 합수를 푸리에 급수(Fourier Series)로 전개하면 식(3)과 같다.

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(nx) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(nx) \tag{3}$$

한 주기내 곡선을  $x(n \geq 2)$ 에 따라 등간격을 n 점으로 정의할 경우 크기뿐만 아니라 식(3)의 여현계수 ( $a_0, \dots, a_m$ ) 및 정현계수 ( $b_0, \dots, b_m$ )를 계산할 수 있다. 식(3)에서 각 고조파

의 크기는 식(4)와 같다.

$$c_i = \sqrt{a_i^2 + b_i^2} \tag{4}$$

인버터와 같은 비선형 부하의 사용으로 발생한 왜형파를 푸리에 급수를 사용하여 정현파의 합으로 분석할 경우 각 고조파의 크기를 기본적인 주파수에 대한 정수배로 표현하는 방법과 기본파 실효 값에 대한 각 고조파의 크기 비율로서 표시하는 방법이 있는데 본 연구에서는 후자의 방법으로 표현하였다. 이때 전체 전류 고조파 왜형율 ( $I_{THD}$ )은 식(5)와 같다.

$$I_{THD} = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}{I_1^2}} \tag{5}$$

여기서  $I_1$  : 기본파 전류,  $I_h$  : 각 고조파 전류이다.

2.2 고조파에 의한 영향

매년 증가하고 있는 고조파의 장애건수의 일본 실측 사례는 그림 2 와 같다[7]. 그림 2 사례에 의하면 장애가 콘덴서 및 리액터와 같은 부속장치에 90[%]에 가깝게 집중되는데 이는 콘덴서 설비가 고조파 전류의 흡수 기능을 지니고 있기 때문이다.

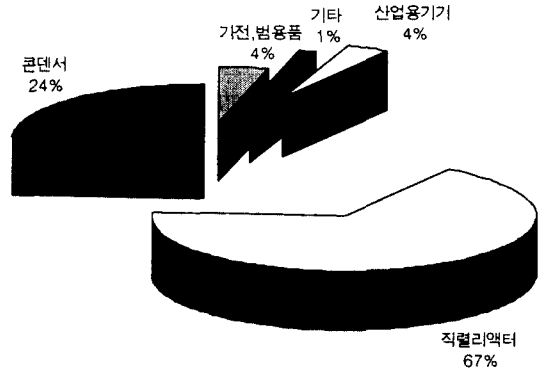


그림 2 고조파 장애를 받은 기기별 빈도  
Fig. 2 Percentage by device and parts gone through the harmonics obstacle

고조파에 의한 영향으로서 음향기기는 다이오드, 콘덴서 등의 부품고장 또는 수명 및 성능저하로 잡음이 발생할 수 있고, 형광등은 과도한 고조파 전류의 유입으로 과열이나 소손을 일으킬 수 있으며, 콘덴서와 리액터 설비는 과도한 고조파 전류의 유입으로 과열, 이음(異音), 진동, 소손 사고가 일어날 수 있다. 정보관련기기는 잡음에 의한 시스템의 정지나 오동작 또는 고조파의 유도에 의한 불량 동작을 일으킬 수 있다. 산업용 전동기는 회전수의 주기적인 변동, 효율저하 및 2차측 과열을 발생시킬 수 있다. 특히 자동차 산업에 많이 이용되고 있는 각종 제어기기는 제어신호의 어긋남이 발생할 수 있어 큰 문제를 일으킬 수 있다[4,5,6].

배전시스템에서 발생하는 대부분의 전압 왜형은 전원측에서 발생한 것이 아니라 비정현적인 방법으로 전류를 소비하는 대부분의 비선형부하에 의해 발생된다. 이와 같은 전압 왜형은 시스템에서의 임피던스와 고조파 전류의 상호관계에 의해 발생한다. 고조파 전류가 계통 임피던스내를 통과함에

따라 식(6)과 같이 각 고조파 주파수의 전압강하( $V_h$ )하여 전압왜형을 이룰 수 있다. 이 전압왜형은 전원의 정상적인 동작을 방해하거나, 시스템의 가동중지 또는 재부팅하기도 하며 심지어 전원시스템에 손상을 입히기도 한다.

$$V_h = I_h \times Z_h \quad (6)$$

여기서  $I_h$  : 각 고조파 전류,  $Z_h$  : 각 고조파에서 합성 임피던스 식(6)에서 알 수 있듯이 고조파 전류값이 크고 임피던스값이 높을 경우 가혹한 환경을 낳을 수 있다. 따라서 안정적인 전압을 공급하기 위해서 고조파 전류의 저감과 임피던스값을 낮출 수 있는 대안이 제시되어야 한다.

즉, 전압강하는 고조파 전압성분으로 나타낼 수 있으며 모든 고조파 주파수에서 이들 전압의 누적은 식(7)과 같은 전압 고조파( $V_{THD}$ )를 발생하게 된다.

$$V_{THD} = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^n V_h^2}{V_1^2}} \quad (7)$$

고조파 전압은 전동기에 지나친 진동을 일으킬 수 있으며, 이 진동은 베어링에 정상적인 경우를 초과하여 마모와 상처를 가해 축의 신뢰성을 떨어뜨릴 수 있다[1,3,7].

### 2.3 고조파 저감기준

전력사용설비의 경우 계통에 여러 가지 전기 기기가 접속되는데 이 기기들이 서로 영향을 주지 않는 상태에서 제 기능을 발휘하기 위해서는 고조파 발생량을 적절한 수준이하로 억제할 필요가 있고, 고조파 전압에 약한 기기는 고조파 내력 높일 필요가 있다.

이와 같은 개념에서 전력시스템에서 발생하는 고조파 전압왜형율의 한도는 특고압의 경우 3[%], 고압의 경우 5[%]를 목표로 하고 있다[5,6]. 고조파에 대한 목표 레벨을 설정하지 않을 경우 전력전자 장비의 사용증가에 따라 전력계통의 고조파 전압 왜곡은 점차 증가할 것이다. 따라서 고조파의 저감을 통한 전력품질의 개선을 위해서는 전기공급자의 일방적인 노력에도 한계가 있기 때문에 고조파 발생 제품의 생산업체나 고조파가 발생하는 기기를 사용하는 수용가에서도 고조파의 저감을 통해 전력설비의 품질을 향상시키는 제도적인 노력이 필요하다.

인버터에서 발생한 고조파 전류는 수용가 변압기를 경유해서 수전점으로 유출할 수 있다. 이 유출 고조파 전류에 의해 다른 수용가에 영향을 미치기 때문에 고조파 억제대책 지침이 규정되어 있다. 200[V]급 3.7[kW] 이하는 “가전·범용품 고조파 억제대책 가이드 라인”, 기타는 “특정수용가 고조파 억제대책 지침”이 적용된다[5,6].

특정수용가의 경우에는 발생레벨의 50[%]를 억제하고, 가정용이나 범용 제품을 사용하는 수용가의 경우 기기의 종류에 관계없이 발생레벨의 25[%]를 억제하는 것이 바람직하다. 또한 특정 수용가에서 유출하는 고조파 전류의 허용량에 대한 구체적인 수치를 차수별로 제시하고 있다[5,6]. 표 1은 고압·특고압 수용가의 설비에서 계약전력 1[kW]당의 고조파 유출 전류 상한 값(mA/kW)을 나타낸 것으로서 신규로 수전 하거나 기존 설비의 증설시에 적용된다[6].

표 1 계약전력 1kW당 고조파 유출 전류상한값  
Table 1 Upper-limits of harmonic flow current per 1 kW contract power

수전 전압	5차	7차	11차	13차	17차	19차	23차	23차 초과
6.6kV	3.5	2.5	1.6	1.3	1.0	0.9	0.76	0.70
22kV	1.8	1.3	0.82	0.69	0.53	0.47	0.39	0.36
154kV	0.25	0.18	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.05

그러나 이것은 고압·특고압 설비에 대한 고조파 규제를 위한 것으로서 점차 사용이 증가되고 있는 저압 수용가의 고조파 발생량을 규제하기 위한 대책이 필요하다. 300[V]이하의 저압계통에서 한 상당 전류가 20[A]인 평형 3상 기기를 사용하는 경우에도 고조파 발생 한도 값을 표 2와 같이 제한하고 있다[5,6].

표 2 고조파 전류 발생 한도값  
Table 2 Generating limits of harmonic current

고조파 차수 n	최대 허용 고조파 전류
2	1.08
3	2.30
4	0.43
5	1.14
6	0.30
7	0.77
9	0.40
11	0.33
13	0.21
$8 \leq n \leq 40$	$0.23 \times (8/n)$ [기수 조파만 적용]
$15 \leq n \leq 39$	$0.15 \times (15/n)$ [우수 조파만 적용]

### 2.4 고조파 저감대책

고조파가 문제시 되는 이유는 시스템에서 고조파를 발생하는 발생원이 있고, 그 발생원으로부터 발생한 고조파가 기기에 미치는 영향이 크기 때문이다. 그 영향의 정도는 대상회로의 임피던스에 크게 좌우되기 때문에 대책으로는

- 고조파 발생원의 발생량을 저감시키고,
  - 대상회로의 임피던스를 변경시키며,
  - 대상 기기의 고조파 내량(耐量)을 높이는 방법이 있다.
- 현재 시도되고 있는 대책으로서는 다음과 같은 것이 있다 [1,2,4,8].

- ① 부하측에서 고조파 발생원의 발생량을 억제하기 위한 방법으로 펄스의 다중화 또는 입력전류의 정현파화 시키고 있다.
- ② 대상회로에 진상콘덴서용 리액터를 설치하거나 리액터를 증가시켜 임피던스를 변경시킨다.
- ③ LC 필터를 설치하여 고조파 전류를 흡수하므로써 장해 발생을 방지하는 것은 물론이고, 기본파에 있어서는 진상 콘덴서로서 전력전자기기의 역률을 개선할 수 있어 무효전력

보상장치로서 많이 실용화되어 있다.

④ 보상전류를 모선에 주입하므로써 임의 차수의 고조파 전류를 상쇄시키는 액티브 필터를 설치하여 고조파를 억제한다. LC 필터에 비해 뛰어난 특징을 가지고 있다.

### 3. 고조파의 측정 및 분석

#### 3.1 고조파 측정 시스템 구성

전력반도체 소자의 스위칭에서 발생하는 고조파 성분이 계통에 유출되어 전압변형을 일으키고, 수용가의 각종 설비에 손상, 수명 저하 및 불필요한 동작 등의 장애를 일으키고 있다[1-5]. 특히 6.6[kV] 배전계통에 직접 접속되는 고압 콘덴서 및 직렬리액터는 주파수가 높을 수록 콘덴서의 임피던스가 낮아지기 때문에 고조파의 영향을 받기 쉽고, 내량이 콘덴서보다 낮은 직렬 리액터에 소손사고가 발생하기 쉽다. 저압동력 설비의 경우 역률이 낮기 때문에 역률을 보상하기 위해 저압 부하에 개별 또는 전체를 대상으로 역률보상을 위한 콘덴서를 설치하는 경우가 많다.

이 콘덴서나 리액터에 유입되는 고조파의 차단 및 발생원의 발생량 억제 등 대책을 마련하기 위해

- 전원 설비에서 발생하는 고조파
- 전원 설비의 수전점 유입 및 유출하는 고조파
- 간선 및 분기회로의 부하설비에서 발생하는 고조파 전류를 측정한다.

그런데 고조파 전류가 대부분 수용가측 설비에서 발생하기 때문에 수용가 회로의 측정이 중요하다.

그림 3 은 저압 220[V] 전력 공급 시스템의 한 예로서 간선 및 분기회로의 동일 버스(bus)에 가변속 유도전동기와 직접 운전 유도전동기가 단상부하들과 연결되어 있는 시스템의 단선도를 나타낸 것이다. 그림 3 에서 5.5[kW] 전압형 PWM 인버터로 구성된 가변속 구동장치(ASD)로 운전되는 3마력과 7마력 유도전동기에서 발생하는 고조파를 측정 하였다.

전동기의 가변속 운전시 고조파의 크기를 측정하기 위한 측정점은 간선 출구측(MCCB1)으로 하였다.

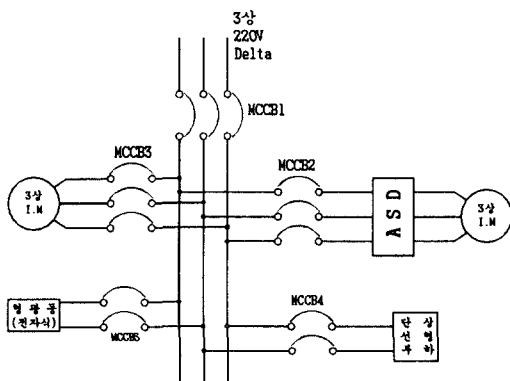


그림 3 측정 시스템  
Fig. 3 Measurement system

그림 3 과 같은 설비에서 인버터에서 발생하는 고조파를 저감하기 위해 ASD의 좌측에는 ACL 필터를 설치하고, 우

측에는 DCL 필터를 설치하는 것이 일반적인 대책이다.

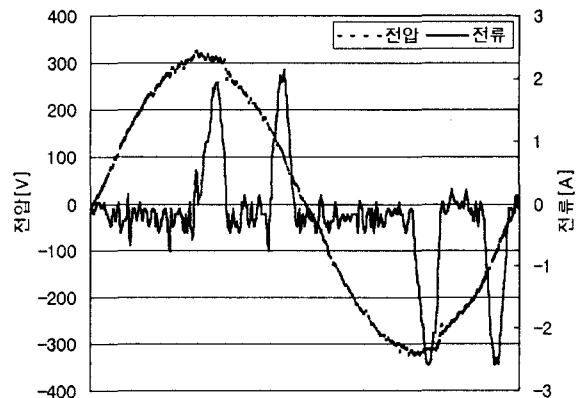
본 연구에서는 저감용 리액터 대신에 직접 연결된 전동기의 운전대수가 고조파의 발생과 크기에 미치는 영향을 확인 하였다.

#### 3.2 측정 및 결과 분석

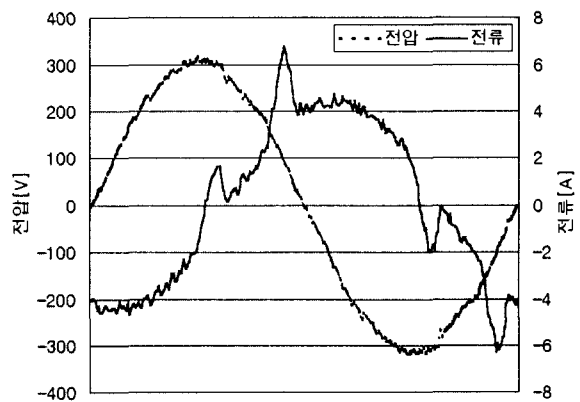
유도전동기의 가변속 드라이브 사용에 의한 고조파 발생 해석은 주로 단독운전의 경우를 고려하지만, 실제 전원설비 간선에는 선형 부하와 비선형 부하가 함께 연결되어 운전되고 있으므로 이들 부하를 모두 포함한 고조파 특성해석이 이루어져야 한다. 따라서 선형 및 비선형 부하의 사용에 따른 분기선과 간선에서의 영향을 조사하기 위해 가변속 드라이브의 입구측 단자와 간선의 고조파를 측정하였다.

측정에 사용된 유도전동기는 3대(3마력 2대, 7마력 1대)로 비선형 부하인 가변속 구동장치에 각자 3마력과 7마력을 기본으로 연결하고 나머지 3마력은 선형부하로 운전하였다.

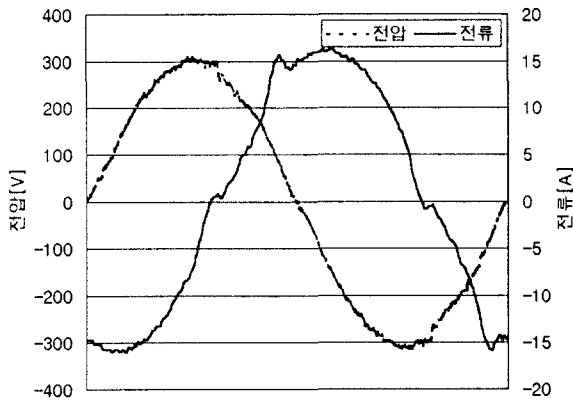
그림 4 는 3마력 유도전동기를 가변속 드라이브에 연결하고서 인버터를 사용하지 않은 3마력과 7마력 유도전동기를 함께 운전하는 설비에서 입구단 간선의 전압전류를 측정 한 것이다. 인버터의 스위칭 주파수는 12[kHz]이고 운전주파수는 50[Hz]이다.



(a) 3마력만 가변속 운전시



(b) 3마력 추가



(c) (3+7)마력 추가

그림 4 비선형 부하의 사용에 따른 전압·전류파형  
Fig. 4 Waveforms of voltage and current using non-linear load

그림 4 (a)에서 가변속 드라이브 장치로부터 발생되는 1주기 동안의 전압 파형은 거의 정현적인 형태를 나타내지만, 전류는 매우 이그러진 파형을 나타내고 있다. 이와 같은 이그러진 파형은 기본 주파수 성분과 그 정수배 주파수 성분이 합성된 것으로서 이그러진 파형의 전류를 발생시키는 기기는 그림 1에서와 같이 인접 및 입력측 계통에 고조파 전류를 흘리는 발생원이 된다. 고조파의 전체 함유량  $I_{THD}$ 이 149[%]로서 일반부하에서 20[%]이하로 유지하는 것을 요구하는 것에 비해 매우 높다[1,5,6].

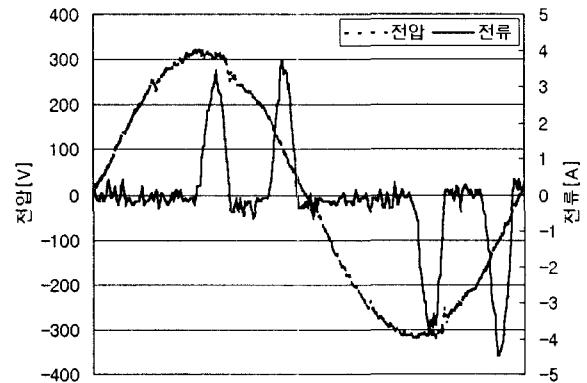
계통에 유입한 고조파 전류는 전압변환 모선을 통해 입력측 계통에 유입해 가는 중에 계통의 내부 임피던스에 의해 그 고조파 전류와 같은 차수의 전압강하를 이르게 고조파 전압을 발생시킨다. 그래서 이 고조파 전압이 계통에 연결된 다른 기기에 좋지 못한 영향을 미치게 할 수 있다.

이와 같은 고조파 문제에 대한 일반적인 해법으로 컨버터 입구단에 입력 초크코일(ACL)을 부착함으로써 인덕턴스는 커패시터가 충전되는 비율을 줄게하여 왜형이 줄어들게 하는법이 있다[1,3,4]. ACL의 용량은 드라이브에 따라 3~4[%] 임피던스의 규격을 사용한다. 저압 전원을 공급받는 같은 시스템에 연결된 일반 전동기의 운전은 임피던스의 추가 기능을 한다. 그래서 동일 모선에 연결된 인덕턴스 부하인 3마력 유도전동기를 추가로 연결시키고 운전할 때 측정된 결과가 그림 4 (b)와 같다. 3마력 유도전동기의 가변속 단독 운전에 비해 유도전동기의 추가운전시 전류파형은 고조파 성분의 함유량  $I_{THD}$ 가 21.8[%]로 매우 완화되었지만 기준범위를 초과한다.

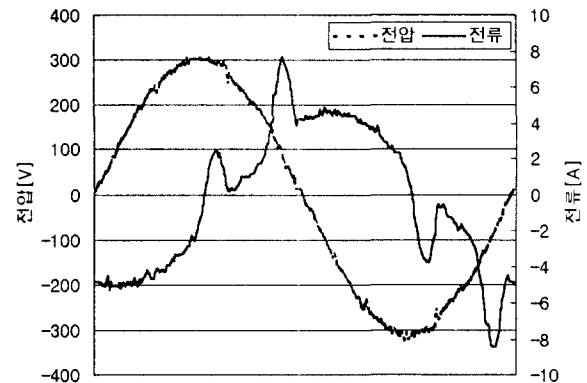
그림 4(c)는 3마력의 가변속 운전에 3과 7마력 유도전동기 2대의 추가운전시 전압·전류파형을 나타낸 것이다. 전압파형에서는 거의 변화가 없지만 전류파형은 매우 정현파에 가까운 곡선형태를 나타내고 있다. 이때  $I_{THD}$ 는 7.5[%]로서 매우 줄어들었다. 따라서 전동기의 추가 운전에 따른 임피던스의 증가로 인버터에 의한 고조파 전류 발생이 상당히 줄어들어 전원전류의 고조파 발생량은 기준범위내로 억제됨을 알 수 있다.

그림 4의 (b)와 (c)에서 전류값이 (a)에 비해 크게 나타난 것은 가변속에 전동기의 추가운전으로 전류값이 상대적으로 증가한 것이다.

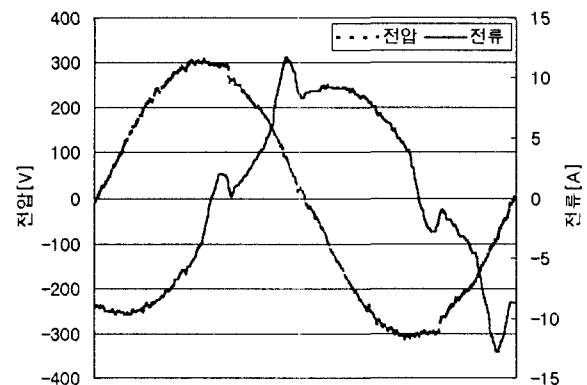
가변속 드라이브에 사용되는 전동기의 용량 증가에 따른 고조파 특성을 좀 더 알아보기 위해 7마력 전동기를 인버터에 연결하고서 나머지 3마력짜리 2대의 유도 전동기를 추가로 운전하면서 측정된 1주기 동안의 전압·전류는 그림 5와 같다.



(a) 7마력만 가변속 운전시



(b) 3마력 추가



(c) 3마력 두대 추가

그림 5 비선형 부하의 사용에 따른 전압·전류파형  
Fig. 5 Waveforms of voltage and current using non-linear load

그림 5(a)에서 인버터를 사용하여 7마력 유도전동기를 단독으로 가변속 운전할 경우 전류파형은 그림 4(a)에서와 같은 형태를 나타낸다. 이때의  $I_{THD}$ 는 130.8[%]로 3마력 일때에 비해 약간 줄어들지만 그래도 매우 큰 값이 나타난다. 전류 고조파를 제한범위내로 줄이기 위해 3마력을 추가로 연결하여 운전하면서 측정 한 결과는 그림 5(b)와 같다. 전류 파형은 그림 4(a)와 비교해서 매우 정현적인 변화를 하고 있지만,  $I_{THD}$ 는 32.1[%]로 제한범위를 초과한다. 3마력짜리 유도전동기 한대를 추가 운전할 때 출력파형은 그림 5(c)이다. 이때  $I_{THD}$ 는 18.3[%]로 제한범위내에 들지만 전류파형은 그림 4(c)에 비해 정현파에 가깝지 않음을 알 수 있다.

그림 4와 5에서 가변속 드라이브에 연결 운전되는 전동기의 용량이 클수록 전류 고조파 왜형율( $I_{THD}$ )은 다소 줄어든다는 것을 알 수 있다. 그리고 가변속 드라이브에 사용되는 전동기의 용량이 작고 추가 연결 운전되는 전동기의 용량이 클 수록 임피던스의 증가로 고조파 저감 효과가 커짐을 알 수 있다.

그림 4 및 5의 기본파 이외 각 고조파 성분의 크기를 찾아내기 위해 식(3)의 푸리에 급수를 이용하였다. 각 고조파의 크기를 찾고자 하는 이유는 각 고조파 성분이 기기의 특성에 미치는 영향이 다르기 때문이다.

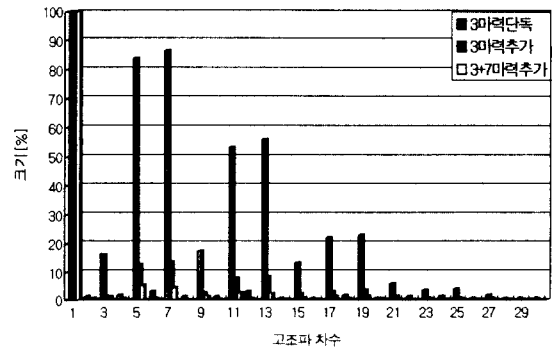
그림 4, 5의 운전 조건 (a), (b), (c)에 대한 각 고조파 차수의 크기에 대한 스펙트럼을 분석한 결과는 그림 6 과 같다.

측정된 한 주기의 데이터를 가지고 고조파 성분을 분석하기 위해 MathCAD를 이용하였다. 정확한 데이터 분석을 위해서는 1주기의 측정 데이터 수가  $2^n$ 개 여야 하나 측정된 데이터값이 이보다 작기 때문에 Cubic 보간법을 이용하였다 [9].

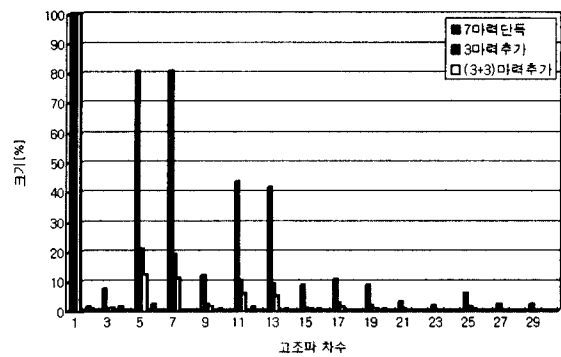
측정에 사용된 PWM 드라이브의 경우 정류소자가 6개로 서 발생하는 고조파의 경우  $6n \pm 1$ 의 조파가 주로 크게 발생한다.

그림 6 에서 발생된 고조파에서 5 고조파와 7 고조파가 가장 크며, 그 다음으로는 11과 13 고조파가 크다. 그래서 주로 비선형 부하의 경우 가장 큰 고조파를 줄이기 위한 필터의 설계시 5고조파에 대해 설계하는 것이 일반적이다. 그림 6(a)에서 3마력 전동기를 단독으로 가변속 운전한 경우 5와 7 고조파가 기본파의 경우 80[%]를 초과하지만, 3마력을 1대 추가시 5와 7 고조파는 13[%]로 거의 1/8 정도로 줄어들며, 3마력과 7마력 2대를 추가 운전시 5[%] 정도 감소함을 알 수 있다. 또한 11 및 13차 고조파도 단독운전에 비해 추가로 운전 대수를 증가함에 따라 매우 저감되었다.

그림 6(b)에서 가변속 드라이브에 7마력을 사용한 경우 3마력을 사용한 경우에 비해  $6n \pm 1$ 에 해당하는 고조파의 크기가 5[%] 이상 줄어든 것을 알 수 있다. 특히 17과 19 고조파의 경우는 현저하게 줄어들었다. 그러나 20차 이상의 고조파에 대해서는 변화가 매우 적다는 것을 알 수 있었다. 따라서 저차 중에서 매우 크게 발생하는 고조파에 대한 영향을 줄일 수 있는 대책의 수립이 중요하다.



(a) 그림 4의 고조파 스펙트럼



(b) 그림 5의 고조파 스펙트럼

그림 6 전류 고조파 스펙트럼

Fig. 6 Current harmonics spectrum

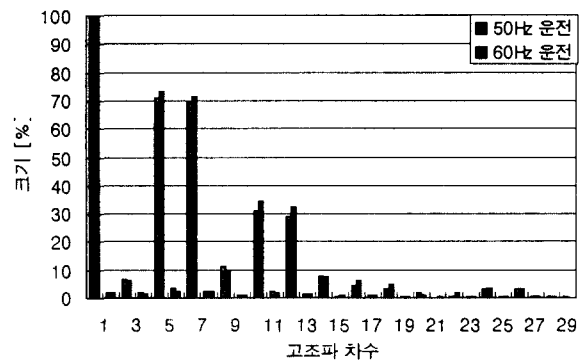


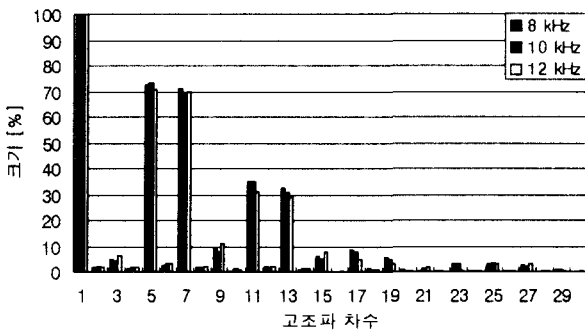
그림 7 운전속도 변화에 따른 고조파 스펙트럼

Fig. 7 Harmonics spectrum with operation frequency variance

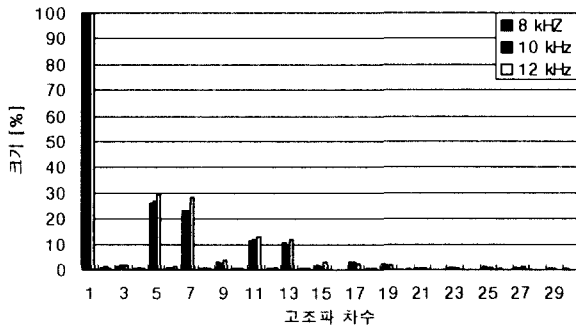
가변속 드라이브의 사용은 부하의 속도를 조절하는 것으로서 운전 주파수에 따른 전류 고조파 분석도 필요하다. 그래서 그림 3 과 같은 조건에서 가변속 드라이브에 7마력 전동기를 단독 운전하는 경우 속도 가변에 따른 전류 고조파 스펙트럼 분석결과는 그림 7 과 같다.

그림 7에서 운전주파수를 50과 60[Hz] 가변한 경우 전체 전류 고조파 왜형은 각각 130[%]와 135[%]로서 거의 변화가 없었으며, 각 고조파 차수에 대한 크기의 변화에서도 거의 차이가 없음을 알 수 있다. 따라서 가변속 드라이브의 사용시 발생하는 고조파에 대한 영향은 부하의 가변속 운전에 대한 영향보다는 분기선에 연결된 부하의 대수 제어 즉, 임피던스 변화가 큰 영향을 나타냄을 알 수 있다.

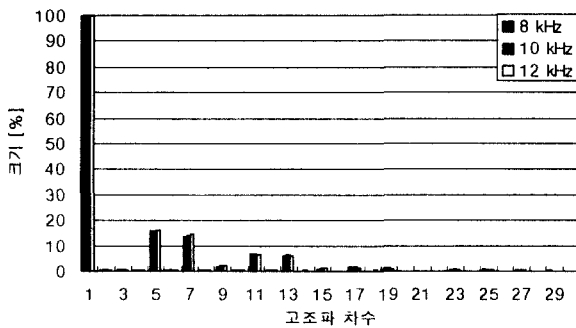
IGBT와 같은 높은 스위칭 주파수를 가진 소자를 채택하는 인버터가 고조파 전류의 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 7마력 가변속 드라이브 유도전동기에 3마력 유도전동기 2대 추가시키고 대수 증감에 따라 스위칭 주파수를 8, 10, 12[kHz]로 조정하면서 측정된 결과가 그림 8과 같다.



(a) 단독 운전시



(b) 1대 추가운전시



(c) 2대 추가운전시

그림 8 스위칭 주파수에 따른 고조파 스펙트럼  
Fig. 8 Harmonics spectrum with switching frequency

그림 8에서 스위칭 주파수를 변화할 경우 고조파의 차수에는 거의 변화가 없지만, 동일 모선에 추가 운전할 경우  $6n \pm 1$ 에 해당하는 고조파는 현저하게 줄어들음을 알 수 있고, 또한 3의 배수가 되는 3과 9 고조파는 대수의 추가에 따라 상대적으로 줄어든다는 것도 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

전력전자 기술의 발전에 따른 산업용 전동력 설비의 가변속 운전으로 에너지를 효율적으로 이용하기 위해 도입된 인버터와 같은 비선형 부하의 사용은 고조파를 발생시켜 전력의 품질을 저하시킨다. 이와 같은 비선형 소자의 사용에 따른 고조파의 영향을 줄여 시스템의 신뢰도를 높이기 위한 방법으로 인버터의 입력측과 출력측에서 파형을 측정하여 분석하였다.

본 논문에서는 일반 수용가의 저압 전원설비에 연결된 유도전동기를 인버터에 의한 가변속 제어와 직접 운전하는 유도전동기를 같은 모선에 연결하고서 운전대수의 조절에 따른 임피던스의 변화로 간선측 고조파의 영향을 측정을 통해 분석하였다.

측정결과 인버터를 사용한 부하의 가변속 운전시 단독운전에서 고조파의 많은 부분이 전원측에 영향을 미치지만, 같은 모선에 연결된 일반전동기의 운전대수를 증가할 경우 임피던스의 증가로 필터의 사용 없이도 고조파의 많은 부분이 상당히 줄어들어 전류 고조파가 제한 범위내 들어감을 확인하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 김종경, 이은용, 이동주, "인버터 스위칭에 의한 가변속 구동장치의 전원측 및 부하측 고조파 해석과 저감방안", 대한전기학회 논문지, 제47권, 8호, pp.1123-1128, 1998.8
- [2] David D.Shipp et al., "Power Quality and Line Considerings for Variable Speed AC Drives", IEEE Trans on IAS, vol.32, no.2, pp.403-410, 1996, Mar/April.
- [3] 김종경, 이은용, "유도전동기의 가변속 구동장치의 인버터 종류에 따른 고조파 발생과 그 영향", 대한전기학회 논문지, 제47권, 7호, pp.906-913, 1998.7
- [4] Robert A.Hanna, "Harmonics and Technical Barriers in Adjustable Speed Drives", IEEE Trans on IAS, vol.25, no.5, pp.894-900, 1989, Sep/Oct
- [5] IEEE Std 519-1992, "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems", IEEE April 12, 1993
- [6] 日本電氣學會技術報告書, "工場・ビルにおける電源品質確保の現状と對策", 第581號, 1996.4
- [7] Thomas et al., "Application Considerings for PWM Inverter-fed Low-voltage Induction Motors", IEEE Trans on IAS, vol.30, no.2, pp.286-293, 1994, Mar/April

- [8] W. Edward Reid, "Power Quality Issues-Standard and Guidelines", IEEE Trans on IAS, vol.32, no.3, pp.625-632, 1996, May/June  
[9] MathCAD User's Guide, 1996

**감사의 글**

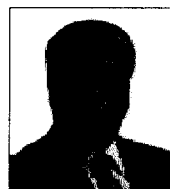
본 연구는 2001년도 과학재단의 지원에 의하여 이루어진 연구의 일부로서, 관계부처에 감사 드립니다.

**저 자 소 개**



**김종겸 (金宗謙)**

1961년 10월 3일 생. 1991년 충남대 대학원 졸업. 1996년 2월 동대학원 졸업(공학). 1996년 ~ 현재 국립원주대 전기과 조교수. 현재 당학회 편집위원  
Tel : 033-760-8423  
E-mail : jgkim@sky.wonju.ac.kr



**이은웅 (李殷雄)**

1944년 8월 14일 생. 1971년 한양대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1982년~83년, 1984년~85년 캐나다 McGill 대학 방문교수. 1987년~현재 당학회 평위원. 1995년 당학회 편집위원장 및 전기기연구회 간사장. 1995년~1997년 충남대 공대 학장, 산업대학원장('96~'97), 1997년~2000년 당학회 부회장. 현재 충남대 전기공학과 교수  
Tel : 042-821-5652  
E-mail : ewlee@cnu.ac.kr