

저압 시스템에서 비선형 부하의 사용에 따른 고조파 전류 해석

°김종겸*, 이은웅**
원주대학*, 충남대학교**

Analysis of harmonics current using non-linear load at low voltage system

°Kim Jong-Gyeum*, Lee Eun-Woong**
Wonju College*, Chungnam Univ.**

Abstract - This paper describes the problems associated with the use of PWM ASDs to drive induction motors. A major effect of harmonic voltages and currents in induction motors is increased heating due to iron and copper losses at harmonic frequencies. The harmonic components thus affect the motor efficiency, and can also affect the torque developed. In order to investigate the effect of harmonics which is caused by using of nonlinear load at the low voltage system, we fixed up simple load model and measured the voltage and current. Measurement results show that additional operation of linear load at the parallel bus in using nonlinear load such as ASD is helpful to the reduction of harmonic current

1. 서 론

최근 들어 전력전자 기술의 급속한 발전에 따라 반도체 응용 기기가 빠르게 보급되었으며, 가정용·업무용으로부터 산업용 및 공업용에 이르기까지 널리 이용되고 있어 에너지 절감 및 기기의 조작성 향상에 많은 기여를 하고 있다.

이와 같이 전력에너지를 효율적으로 사용하기 위해 도입된 전력변환장치의 사용증가는 고조파와 같은 현상의 발생으로 전력설비에 좋지 못한 영향을 미치고 있다. 특히 인버터와 같은 비선형 부하의 사용은 고조파의 발생으로 전원측 및 부하측에 전력품질 저하의 가장 큰 요소로 작용하고 있다.

유도전동기를 가변속 제어하기 위한 인버터의 적용은 전동기 자체뿐만 아니라 전원측에 고조파 전류를 발생시켜 전력품질에 민감한 장비에 오동작을 이끄는 경우가 있다. 이들 고조파를 줄이기 위한 방법으로 인버터의 전원측 및 부하측에 리액터를 설치하는 경우가 있다.

본 연구에서는 인버터 적용시 발생하는 전력품질의 영향 정도를 알아보기 위해 저압 3상 유도전동기를 사용하는 설비에서 같은 간선 및 분기선에 가변속 시스템의 단독 및 일반 유도전동기를 추가로 연결하여 운전하는 경우 시스템에 발생하는 전력 품질 중에서 고조파의 크기를 측정하여 결과를 분석하고자 한다.

2. 고조파의 발생 및 영향

2.1 고조파의 발생원인 및 문제점

전력시스템에서 고조파 오염 문제는 전력회사, 설비 제작자 및 수용가 모두를 오랫동안 괴롭혀왔다. 고조파를 발생하는 것으로는 최근의 전력 반도체 기술에서의 진보와 함께 산업설비에서 전동기의 가변속 운전을 위한 인버터와 같은 비선형 부하 및 전력전자장치 등이 있다.

고조파는 기본과 주파수의 정수배가 되는 전압이나 전류를 말하는 것으로서 그 전류 파형이 전압 파형과 같은 형상이 아닌 비선형 부하에 의해 발생하는 것을 말한다. 가변속 구동장치의 컨버터에 의해 발생하는 고조파 차수 h의 경우 식(1)과 같이 그 장치의 펄스수 p와 관련을 가진다[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.

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

인버터와 같은 비선형 부하의 사용으로 발생한 왜형파를 푸리에 급수를 사용하여 정현파의 합으로 분석할 경우 각 고조파의 크기를 기본적인 주파수에 대한 정수배로 표현하는 방법과 기본파 실효값에 대한 각 고조파의 크기 비율로서 표시하는 방법이 있는데 본 연구에서는 후자의 방법으로 표현하였다. 이때의 전체 고조파 전류 왜형율(THD)은 식(3)과 같다.

$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}{I_1^2}} \tag{3}$$

이와 같은 고조파 왜형의 많은 부분은 수용가에 의해 사용되는 부하로부터 발생한다. 어느 수용가에서 사용되는 비선형 부하에 의한 고조파는 같은 배전 시스템에서 공급받는 또 다른 수용가에 대해 고조파와 같은 문제를 일으킬 수 있다[2].

고조파에 의해 발생하는 증상으로서 선로의 중성선 도체와 변압기 및 전동기의 과열과 커패시터 뱅크의 경우 휴즈 용단 등이 있다. 이외에도 민감한 전자장비의 경우에는 기기의 오동작과 계기의 오차를 초래하는 경우도 있다.

2.2 고조파 측정 시스템 구성

고조파 측정 목적은 다음과 같이 3가지로 분류할 수 있다.

- 전원 설비 전체의 고조파 발생 경향을 측정하는 경우
- 전원 설비의 수전점 고조파 유출 및 유입 경향을 측정하는 경우
- 간선 및 분기회로의 부하설비에서 발생하는 고조파 전류를 측정하는 경우

고조파를 발생하는 설비의 대부분이 수용가측 설비에서 이루어지기 때문에 수용가 회로의 측정이 중요하다.

그림1은 간선 및 분기회로의 동일 버스에 유도전동기를 가변속 운전하기 위한 것과 직접 운전이 가능한 시스템의 경우 단선도를 나타낸 것이다. 그림에서 가변속 구

동장치는 PWM 인버터를 사용하였으며, 대상 유도전동기는 7마력, 그리고 일반 운전대상 전동기는 3마력 2대를 이용하였다.

전동기의 가변속 운전시 고조파의 크기를 측정하기 위한 측정점은 가변속 드라이브 입력측과 간선 출력측으로 하였다.

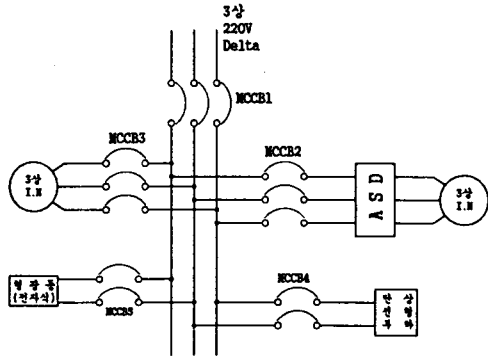


그림 2. 측정 시스템

그림1과 같은 설비에서 고조파를 저감하기 위한 방법으로 ASD의 좌측에는 ACL를 우측에는 DCL 필터 설치하여 인버터에 의한 고조파를 저감하는 방법을 채용하는 경우도 있다. 그러나 본 연구에서는 저감용 리액터 대신에 직접 연결된 전동기의 운전대수에 따른 고조파의 크기에 대한 영향을 확인하는데 의미를 두었다.

3. 측정 및 결과 분석

가변속 드라이브 사용에 의한 고조파의 특성 해석에는 주로 단독운전에 의해 이루어지는 것을 고려하지만, 실제 시스템의 경우 간선에 연결된 부하에는 여러 가지가 있으므로 이들에 대한 것도 함께 포함한 해석이 이루어져야 한다. 또한 해석에서 비선형 부하의 사용에 따른 분기선과 간선에서의 영향을 조사하는 측면에서 가변속 드라이브의 입구측 단자와 간선에서의 고조파를 측정하였다.

그림2는 7마력 유도전동기를 스위칭 주파수는 12kHz, 운전주파수는 50Hz로 단독으로 가변속 운전한 경우의 간선측에서 측정된 전압 및 전류 파형을 나타낸 것이다.

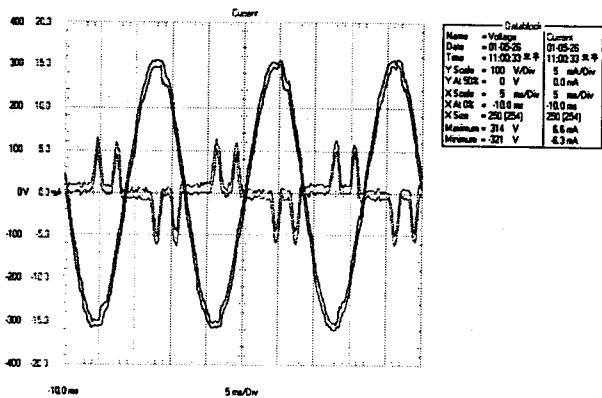


그림 2. 7마력 단독 운전시 전원측 전압, 전류 파형

그림2에서 알 수 있듯이 PWM 드라이브로부터 발생되는 전압 파형은 거의 정현적인 형태를 나타내지만, 전류파형은 매우 왜형된 형태를 나타내고 있다. 고조파의

전체 함유량을 나타내는 THD의 경우 109.3[%]로서 매우 높은 값을 가진다. 이는 일반부하에서 THD가 20[%] 이하로 유지하는 것을 요구하는 것에 비해 상당히 큰 것을 알 수 있다[1,3].

이와 같은 고조파 문제에 대한 일반적인 해법으로서는 컨버터 입구단에 입력 초크코일(ACL)을 부착함으로써 인덕턴스는 커패시터가 충전되는 비율을 줄여 왜형이 줄어들게 하고 있다. ACL의 용량은 드라이브에 따라 3~4[%] 임피던스의 규격을 사용하고 있다. 그러나 동일 모선에 연결된 인덕턴스 부하의 추가 연결시 어떤 영향을 나타내는가를 알아보기 위해 그림1과 같이 3마력 전동기를 추가로 운전한 경우의 측정 결과는 그림3과 같다.

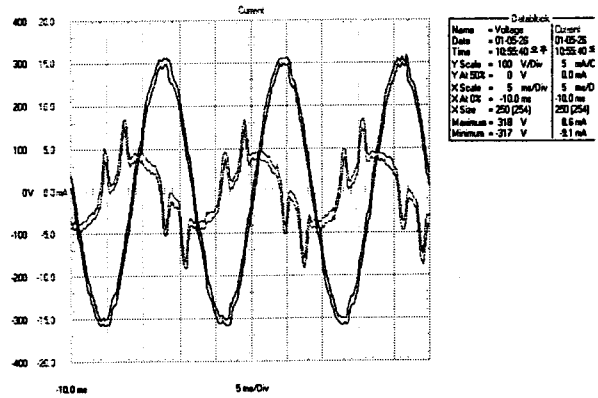


그림 3. 1대 추가운전시 전압, 전류파형

그림3은 그림2와는 달리 전류 파형이 꽤 정현적인 형태를 나타내고 있다. 이는 추가로 사용된 3마력 전동기의 인덕턴스에 의한 영향임을 알 수 있다. 전류 고조파 왜형의 경우 45[%]로서 상당히 줄어든 것을 알 수 있었다.

그림4는 기존 운전중인 가변속 드라이브에 3마력 2대를 추가로 연결한 경우의 전압 및 전류의 파형을 나타낸 것이다.

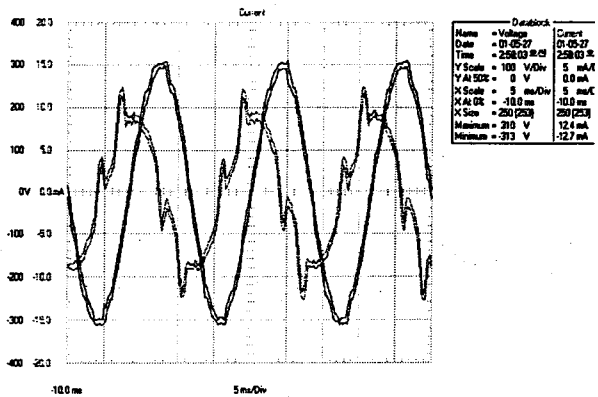


그림 4. 2대 추가운전시 전압, 전류 파형

그림 4에서 알 수 있듯이 그림2와 3에 비해 전압 파형의 형태에서는 별다른 변화가 없지만, 전류 파형의 경우 보다 정현파에 가까운 형태를 나타내고 있다. THD의 경우 23.8[%]로서 단독운전에 비해 1/4배, 1대 추가에 비해서는 거의 절반 수준으로 상당히 줄어든 것을 알 수 있다.

그림 3과 4에서 전류값의 그림 2에 비해 큰 값을 나타내는 것은 기존 7마력에 3마력을 추가로 운전함에 따른 값의 변화이다.

이들 3가지 운전 조건에 대한 각 고조파 차수의 크기별 증감을 알아보기 위해 전류 고조파에 대한 스펙트럼을 분석한 결과는 그림5와 같다.

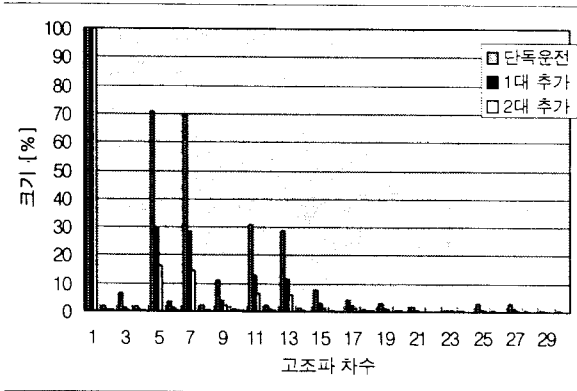


그림 5. 단독 및 추가 운전시 전류 고조파 스펙트럼

측정에 사용된 PWM 드라이브의 경우 정류소자가 6개로서 발생하는 고조파의 경우 $6n \pm 1$ 의 고조파가 주로 크게 발생한다.

그림5에서 알 수 있듯이 발생된 고조파에서 5조파와 7조파가 가장 크며, 그 다음으로는 11과 13 고조파가 차지하고 있다. 그래서 주로 비선형 부하의 경우 가장 큰 조파를 줄이기 위한 필터의 설계시 5고조파에 대해 설계하는 것이 일반적이다. 그림5에서 가변속 드라이브를 단독으로 운전한 경우 5와 7 고조파의 경우 70[%]정도의 크기를 나타내지만, 1대 추가운전시 30[%]로 거의 절반 이하로 줄어들며, 2대 추가 운전한 경우 1대 추가 운전시에 비해 거의 절반 이하 수준으로 저감됨을 알 수 있다. 또한 11 및 13차 고조파의 경우도 단독운전에 비해 추가 운전대수를 증가함에 따라 매우 저감되었다.

그림 5에서 알 수 있듯이 20차 이상의 고조파에 대해서는 거의 변화가 없었다. 따라서 저차 중에서 매우 크게 발생하는 고조파에 대한 영향을 줄일 수 대책의 수립이 중요함을 알 수 있다.

가변속 드라이브의 사용은 부하의 속도를 조절하는 것으로서 운전 주파수에 따른 고조파 분석도 필요하다. 그래서 그림1과 같은 조건에서 단독부하의 속도 가변에 따른 전류 고조파 스펙트럼 분석결과는 그림6과 같다.

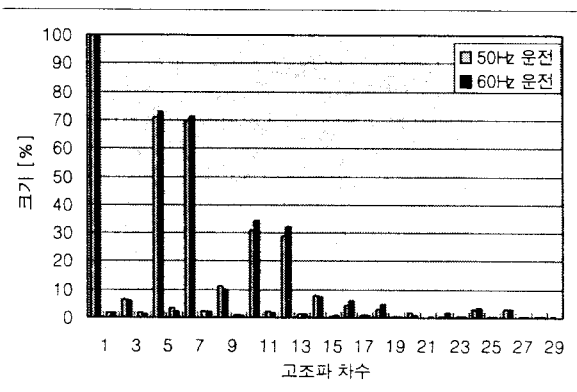
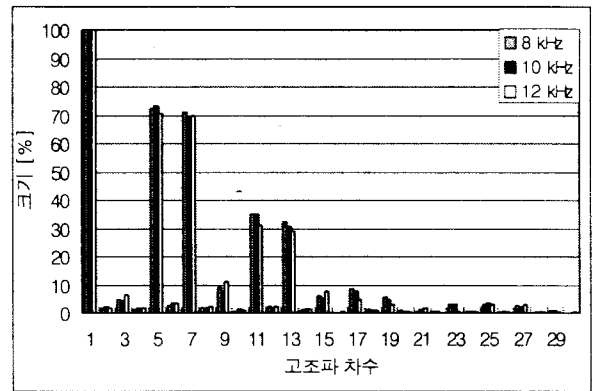


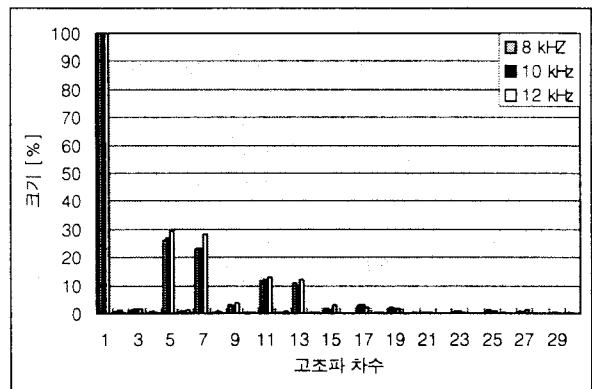
그림 6. 운전 주파수별 전류 고조파 스펙트럼

그림6에서 알 수 있듯이 운전주파수를 50과 60[Hz]가 변한 경우 전체 고조파 왜형은 각각 110[%]와 113[%]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 제어에 큰 의미가 있다는 것을 알 수 있다.

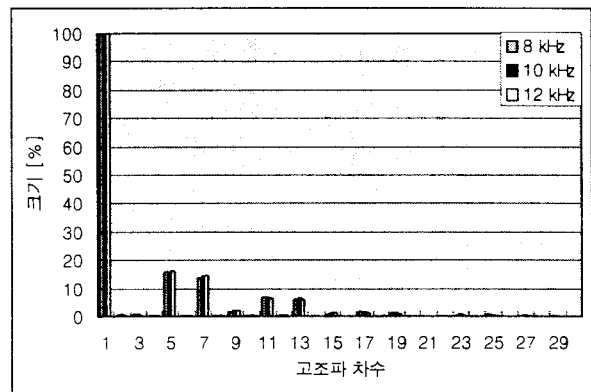
IGBT와 같은 높은 스위칭 주파수를 가진 소자를 채택하는 경우 고조파 전류의 특성에는 어떤 변화가 있는가를 알아보기 위해 전동기의 대수 증감에 따라 스위칭 주파수를 조정하여 측정된 결과는 그림7과 같다.



(a) 단독 운전시



(b) 1대 추가 운전시



(c) 2대 추가 운전시

그림 7. 스위칭 주파수 변화시의 전류 고조파 스펙트럼

그림 7에서 알 수 있듯이 스위칭 주파수를 8,10,12[kHz]로 하고 운전주파수는 50[Hz]로 운전할 경우 고조파의 차수에는 거의 변화가 없지만, 동일 모선에 추가 운전할 경우 고조파는 현저하게 줄어드는 것을 알 수 있다. 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 고조파와 같은 전력품질의 저하를 초래하고 있다. 그래서 이와 같은 고조파의 영향을 줄여 시스템의 신뢰도를 높이기 위한 방법으로 인버터의 입력측과 출력측에 고조파 저감 필터를 사용하고 있다.

본 연구에서는 수용가 설비에 사용하는 저압 시스템에 연결된 유도전동기를 인버터에 의한 가변속 제어와 직접 운전하는 설비를 구성하고서 운전대수의 증감에 따른 간선측 고조파의 영향을 측정을 통해 분석하였다.

측정결과에서 알 수 있듯이 인버터를 사용한 부하의 가변속 운전시 단독운전에 의한 경우 고조파의 많은 부분이 전원측 영향을 미치지만, 같은 모선에 연결된 일반 전동기의 운전대수를 증가할 경우 필터의 사용 없이도 고조파의 많은 부분이 상당히 줄어들게 됨을 확인할 수 있었다.

앞으로 본 연구내용을 참고로 하여 필터의 추가시에는 어떤 영향이 있는지에 대해서도 확인하여 새로운 시스템의 설계시나 변경시 그리고 운전조건에 대한 여러 가지 상황을 고려한 다양한 저감대책에 대해서도 연구도 필요할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김종겸, 이은용, 이동주, "인버터 스위칭에 의한 가변속 구동장치의 전원측 및 부하측 고조파 해석과 저감방안", 대한전기학회 논문지, 제47권, 8호, pp.1123-1128, 1998.8
- [2] W. Edward Reid, "Power Quality Issues-Standard and Guidelines", IEEE Trans on IAS, Vol.32, No.3, pp.625~632, 1996, May/June
- [3] 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.