

저압 시스템에서 비선형 부하의 사용에 따른 전력품질 해석

김종겸, 이은웅, 손홍관, 김일중
 원주대학, 충남대학, 전기연구원, 주성대학

Analysis of power quality using non-linear load at low voltage system

Kim Jong-Gyeum, Lee Eun-Woong, Sohn Hong-Kwan, Kim Il-Jung
 Wonju College, Chungnam Univ, KIEE, Jusung College

Abstract - This paper describes the problems generated with the use of PWM ASDs with induction motors. The major effect of harmonic voltages and currents in induction motors is increased the heating due to iron and copper losses at harmonic frequencies. The harmonic components thus affect the motor efficiency and developed the torque. In order to investigate the effect of harmonics which is caused by using of nonlinear load at the low voltage system, we set up simple load system and measured the voltage and current. Measurement results show that additional operation of induction motor 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 널리 보급되고 있으며, 가정용·업무용으로부터 산업용 및 공업용에 이르기까지 널리 이용되고 있어 에너지 절감 및 기기의 조작성능 향상에 많은 기여를 하고 있다.

이와 같이 전력에너지를 효율적으로 사용하기 위한 전력변환장치의 사용증가는 고조파 발생으로 전력설비에 좋지 못한 영향을 미치고 있다. 특히 비선형 소자로 된 인버터의 고조파는 발생 전원측 및 부하측의 전력품질 저하의 가장 큰 요소로 작용한다.

유도전동기를 가변속 제어하기 위한 인버터 사용으로 인한 고조파 성분의 발생은 전동기의 효율 및 성능저하와 전원측에 고조파 전류를 함유시켜 전력품질에 민감한 장비의 오동작을 일으키는 경우가 있다. 그리고 고조파를 줄이기 위해 인버터의 전원측 및 부하측에 리액터를 설치기도 한다.

본 연구에서는 인버터시 적용시 발생하는 전력품질에 미치는 영향을 알아보기 위해 저압 3상 유도전동기를 사용하는 설비에서 같은 간선 및 분기선에 가변속 시스템의 유도전동기와 일반 유도전동기를 연결하여 운전하면서 양쪽에서 발생하는 고조파의 크기를 측정하여 결과를 분석하고자 한다.

2. 고조파의 발생 및 영향

2.1 고조파의 발생원인 및 문제점

전력시스템에서의 고조파 발생은 전력회사, 설비 제작자 및 수용가 모두를 오랫동안 괴롭혀왔다. 이 고조파의 발생은 최근 전동기의 가변속 운전을 위한 인버터를 비롯한 전력전자장치의 비선형 부하 때문이기도 하다.

즉 기본파 주파수의 전압이나 전류의 정수배가 되는 고조파는 전류 파형이 전압 파형과 같은 형상이 아닌 비선형 부하에 의해 발생된다.

가변속 구동장치의 컨버터에 의해 발생하는 고조파 차수 h 는 식(1)과 같이 그 장치의 펄스수 p 와 관련된다[1].

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

인버터에 의한 전원측 선로에 전달되는 전류 I_s 는 기본파 성분과 고조파 성분이 포함된 식(2)와 같다.

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

인버터의 사용으로 발생하는 왜형파를 푸리에 급수로 분석하여 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 수용가 부하로부터 발생한다. 어느 한 수용가가 사용하는 비선형 부하에 의해 발생한 고조파는 같은 배전 시스템으로 전원을 공급받는 다른 수용가에게 고조파 문제를 일으킬 수 있다[2].

고조파에 의해 발생하는 문제는 선로의 중성선 도체와 변압기 및 전동기의 과열과 커패시터 뱅크의 휴즈 용단을 일으키며, 민감한 전자장비의 오동작과 계기의 오차를 초래한다.

2.2 고조파 측정 시스템 구성

고조파 측정 범위는 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 전원 설비 전체에서 발생하는 고조파 수전점에서의 유출 및 유입
- 간선 및 분기회로의 부하설비에서 발생하는 고조파 고조파를 발생하는 설비의 대부분이 수용가측 설비이기 때문에 수용가 회로의 측정이 중요하다.

그림1은 간선 및 분기회로의 동일 버스에 가변속 구동 유도전동기와 변속장치 없이 직접 운전하는 유도전동기의 결선도이다. 이 그림1에서 가변속 구동장치는 PWM 인버터를 사용하였으며, 대상 유도전동기는 7마력, 그리고 변속장치 없는 유도 전동기는 3마력 짜리 2대이다.

전동기의 가변속 운전시 고조파 측정점은 가변속 드라이브 입력측과 간선 출구측이다.

그림1과 같은 설비에서 고조파를 저감하기 위한 방법으로 가변속 구동장치의 좌측에는 입력초크코일(ACL)을

우측에는 DCL 필터 설치하여 인버터에서 발생하는 고조파를 저감시키기도 한다. 그러나 본 연구에서는 저감용 리액터를 설치않은 채 각 유도전동기에서 발생하는 고조파의 크기를 측정 확인하는데 의미를 두었다.

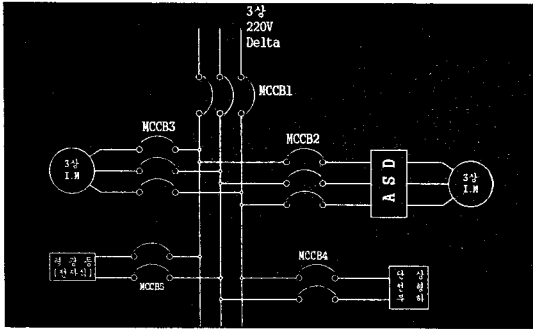


그림 1. 측정 시스템

3. 측정 및 결과 분석

유도 전동기의 가변속 드라이브에서 발생하는 고조파는 주로 단독운전하는 것을 고려하지만, 실제 시스템의 경우 간선에는 여러 가지 부하가 연결되어 있으므로 이들에 대한 것도 함께 해석하였다. 또한 해석에서 비선형 부하의 사용에 따른 분기선과 간선에서의 영향을 조사하기 위해 가변속 드라이브의 입구측 단자와 간선에서의 고조파를 측정하였다.

그림2는 스위칭 주파수는 12kHz, 운전주파수는 50Hz로 단독 가변속 운전하는 7마력 유도전동기의 간선측에서 측정된 전압 및 전류 파형을 나타낸 것이다.

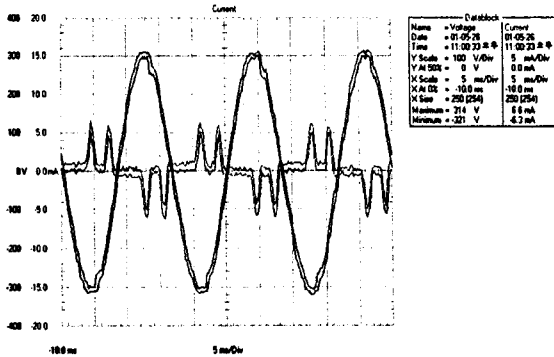


그림 2. 7마력 단독 운전시 전원측 전압, 전류 파형

그림2에서 알 수 있듯이 PWM 드라이브로부터 발생하는 전압 파형은 거의 정현적인 형태를 나타내지만, 전체 고조파 함유량을 나타내는 THD가 109.3[%]로서 매우 높은 값을 가진다. 이는 일반부하에서 THD가 20[%]이하로 유지하는 것을 요구하는 것에 비해 상대적으로 적다[1,3].

이와 같은 고조파 문제에 대한 일반적인 해법으로서는 컨버터 입구단에 ACL을 부착함으로써 인덕턴스는 커패시터가 충전되는 비율을 줄여 왜형이 줄어들게 하고 있다. ACL의 용량은 드라이브에 따라 3~4[%] 인덕턴스의 규격을 사용하고 있다. 그러나 동일 모선에 연결된 인덕턴스 부하의 추가 연결시 어떤 영향을 나타내는가를 알

아보기 위해 그림1과 같이 3마력 유도 전동기를 모선에 분기 연결하여 운전한 경우의 측정 결과는 그림3과 같다.

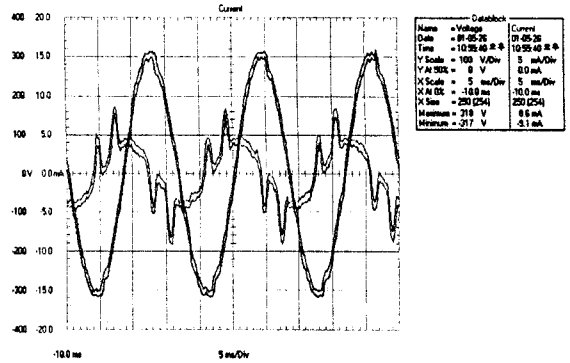


그림 3. 1대 추가운전시 전압, 전류 파형

그림3은 그림2와는 달리 전류 파형이 꽤 정현적인 형상을 나타내고 있다. 이는 추가로 모선에 분기 연결된 3마력 유도 전동기의 인덕턴스의 영향으로 전류 고조파 왜형이 45[%]로 상당히 줄어든 것을 나타내는 것이다.

그림4는 운전중인 가변속 드라이브의 7마력 유도전동기와 가변속 드라이브가 없는 3마력 유도전동기 2대를 추가로 분기 연결한 경우의 전압 및 전류의 파형을 나타낸 것이다.

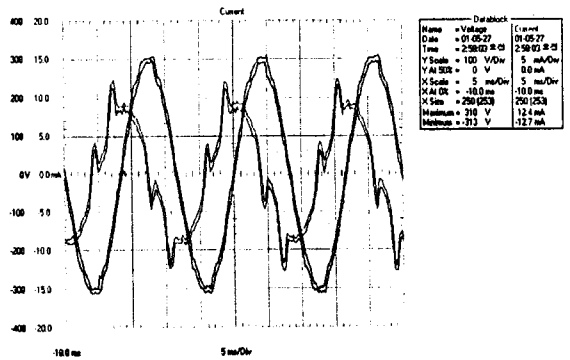


그림 4. 2대 추가운전시 전압, 전류 파형

그림 4는 그림2와 3에 비해 전압 파형은 별다른 변화가 없지만, 전류 파형은 보다 정현파에 가까운 형상을 나타내고 있다. THD의 경우 23.8[%]로서 단독운전에 비해 1/4배, 1대 추가에 비해서는 거의 절반 수준으로 상당히 줄어들었다.

그림 3과 4에서 전류값이 그림 2에 비해 큰 값으로 나타난 것은 기존 7마력에 유도전동기 3마력 유도전동기를 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.

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

4. 결 론

산업용 전동력 설비의 가변속 운전으로 에너지를 효율적으로 이용하기 위한 인버터와 같은 비선형 부하의 사용은 고조파 발생으로 전력품질의 저하를 초래하고 있다. 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 인버터에 의한 가변속 제어와 유도전동기와 가변속 구동장치를 부착시키지 않은 유도전동기를 직접 운전하는 설비를 구성하고서 운전대수의 증감에 따른 간선측에서 측정되는 고조파를 분석하였다.

측정결과에서 인버터를 사용하여 유도전동기를 가변속 운전할 때 발생하는 고조파의 많은 부분이 전원측에 영향을 미치지만, 같은 모선에 연결된 일반전동기의 운전대수를 증가할 경우 필터의 사용 없이도 고조파의 많은 부분이 상당히 줄어들게 됨을 확인 할 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 대한 연구가 필요하 다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (2000-1-30200-012-3)지원으로 수행되었음.

(참 고 문 헌)

- [1] 김종집, 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-Standa 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.

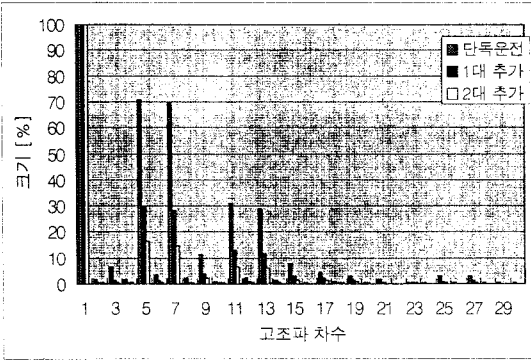


그림 5. 단독 및 추가 운전시 전류 고조파 스펙트럼

그림5에서 알 수 있듯이 발생하는 고조파중 5고조파와 7고조파가 가장 크며, 그 다음으로는 11과 13 고조파가 크다. 그래서 주로 비선형 부하에서 발생하는 고조파를 줄이기 위한 필터는 5고조파 제거에 대해 설계하는 것이 일반적이다. 그림5에서 가변속 드라이브 유도전동기 단독으로 운전할 때 발생하는 고조파는 5와 7 고조파가 기본파의 70[%]정도의 크기를 나타내지만, 3마력 유도전동기 1대를 추가 운전하면 30[%]로 거의 절반 이하로 줄어들며, 2대 추가 운전하면 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.

그리고 20차 이상의 고조파도 거의 변화가 없었다. 따라서 저차 중에서 매우 크게 발생하는 고조파에 대한 영향을 줄일 수 있는 대책수립이 중요함을 알 수 있다.

부하의 속도제어를 위한 가변속 드라이브 주파수변화에 따라 발생하는 고조파 성분을 분석하였다. 그림1과 같은 설비조건에서 단독운전 부하의 속도 가변에 따른 전류 고조파 스펙트럼 분석결과는 그림6과 같다.

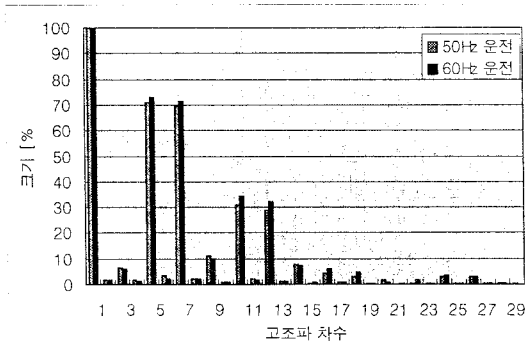


그림 6. 운전 주파수별 전류 고조파 스펙트럼

그림6에서 운전주파수를 50에서 60[Hz]으로 가변하면 전체 고조파 왜형은 각각 110[%]와 113[%]로 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 영향이 크다는 것을 알 수 있다.