

불평형 전압 공급시 비선형 부하의 고조파 특성 해석

김종경, 이은용, 이등주, 이화수
 원주대학, 충남대학, ETI(주), 충남대학

Analysis on the Harmonic Characteristics of Nonlinear Load operated by Unbalance Voltage

Jong-Gyeum Kim, Eun-Woong Lee, Dong-Ju Lee, Hwa-Soo Lee
 WonJu College, ETI, ChungNam Univ

Abstract - Most of the loads in industrial power distribution systems are balanced and connected to three wires power systems. However, in the user power distribution systems, most of the loads are single & three phase and unbalanced, generating a large amount of non-characteristic harmonics. With the advent of power electronics and proliferation of non-linear loads in industrial power applications, power harmonics and their effects on power quality are a topic of concern. Harmonics by the unbalance voltage and non-linear loads, cause the increase of machine loss and heating. In order to allow current harmonic compensation, a filter must be installed. This paper describes the performance of passive filter under the voltage unbalance and non-linear load.

의 문제를 일으킬 수 있다.

2.2 고조파 지수

전압불평형으로 비선형부하에 의해 발생하는 전류파형은 기본파 I_1 외 정수배가 되는 주파수를 포함한 왜형된 파형으로 식 (3)과 같다.

$$I = I_1 + \sum_{h=2}^n I_h \quad (3)$$

기본파 실효치에 대한 고조파 실효치의 합으로 나타낸 I_{THD} 는 식 (4)와 같다.

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n I_h^2}}{I_1} \quad (4)$$

3. 불평형 전압으로 운전되는 비선형부하의 동작특성

3.1 전압불평형 운전 및 측정 시스템

그림 1은 수용가의 전원설비에 3상 부하와 단상 부하가 함께 연결되어 있는 저압설비의 측정시스템 구성도이다. 고압 또는 특고압에서 직접 저압으로 변성하는 대신 근사화된 시스템으로 구성하였다. 1차측은 380[V]를 사용하여 고압 또는 특고압의 1차측과 동일한 방식으로 그리고 2차측은 동력 및 전동·전열부하에 동시에 공급 가능한 방식의 Y결선방식을 적용하였다. 사용된 변압기의 퍼센트 임피던스값은 2.47[%]이고, X/R의 비는 1.47이다.

1. 서 론

전력에너지의 효율적 관리에 사용되는 비선형 반도체 소자와 단상부하의 사용증가는 전압불평형이란 새로운 문제를 발생시켜 전력품질을 나쁘게 하고 있다[1-4].

3상 전력시스템에서의 전압은 120° 위상차를 갖는 평형된 정현파를 유지해야하지만 수용가의 3상 및 단상 부하는 전압불평형을 일으킬 수 있다. 전압불평형이 전력품질의 주요 관심사인 이유는 기기의 출력저하와 기기의 절연 손상을 초래하고 전력변환장치에서 발생하는 고조파가 연결된 시스템에 나쁜 영향을 줄 수 있다[1,4-6].

본 논문에서는 불평형 전압으로 비선형부하를 사용할 때 수동형 필터의 설치위치에 따라 고조파의 특성변화를 해석하였다.

2. 전압 불평형 및 고조파

2.1 전압불평형

3상전압의 크기가 다르거나 120도의 위상차를 갖지 못하는 전압불평형은 식 (1) 및 (2)와 같이 정의한다[5,6].

$$VUF = \frac{V_2}{V_1} \times 100[\%] \quad (1)$$

선간전압에 대한 근사 불평형율($LVUR_a$)은 식 (2)와 같다.

$$LVUR_a = \frac{82 \cdot \sqrt{V_{abc}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2}}{V_{avg}} \quad (2)$$

전압 불평형율 허용범위는 1~3[%]정도이다. 부하를 효율적으로 운전하기 위해서는 무부하상태에서 전압 불평형율이 3[%]이하로 제한하고, 전동기와 전력전자장비 제작사는 1[%]보다 적은 전압불평형을 원하지만, 국제규격으로 2[%]정도까지 허용하고 있다[7].

불평형전압 운전은 아주 높은 전류불평형을 일으킬 수 있는데 유도전동기의 경우 전류불평형의 크기가 전압불평형의 5~10배 정도이고[6,7], 특히 ASD로 운전하는 유도전동기의 경우 15배를 초과할 수 있어 전동기 과열 등

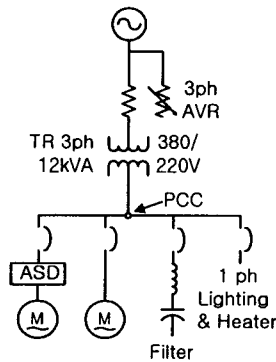


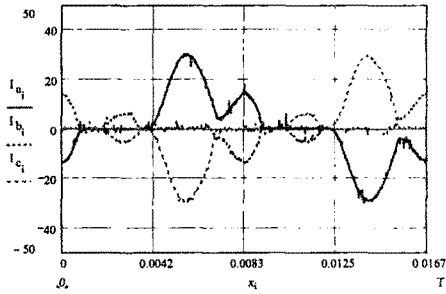
그림 1 측정시스템 구성도

3.2 불평형 전압운전시 고조파 특성

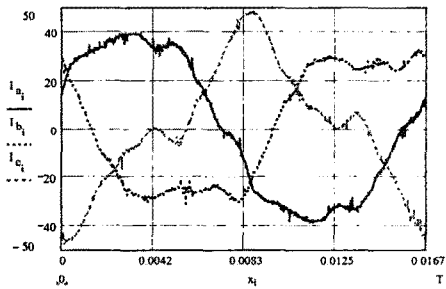
불평형 전압에 의한 영향을 측정하기 위해 그림 1의 전원측에 자동전압조정기(AVR)를 연결하여 전압을 조정하였다. 비선형 부하인 ASD로 3마력 유도전동기의 속도를 조정하였으며, 유도전동기의 부하(L)로 전동부하의 전력공급용 DC 발전기를 사용하였다. 발전기 출력단에

연결된 전등 부하는 2[kW]이고, 인버터의 스위칭 주파수 12[kHz]에서 부하의 운전주파수 60[Hz]로 전부하 운전할 때 비선형부하인 컨버터에서 발생하는 고조파 전류를 측정하였다.

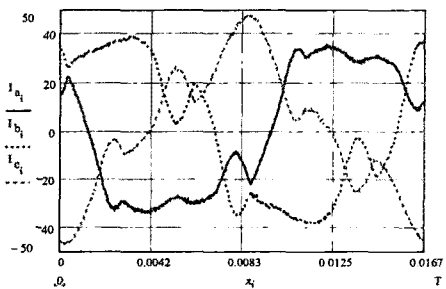
2.6[%]의 전압불평형이 되도록 변환하여 이 3상 전원으로 비선형부하를 운전하면서 전류 고조파 특성변화를 해석하였다. 그림 3에서 수동필터 부착으로 임피던스 변화가 발생할 때 전압 불평형전원에 어떤 특성을 나타내는지 확인하였다. 필터의 설치위치는 PCC로 선정하였다.



(a) 변압기 2차측 전류



(b) 필터 부착후 PCC 측 전류



(c) 필터 유입 전류

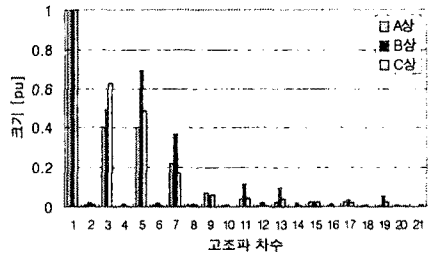
그림 2. 전류파형

그림 2(a)는 그림 1에서 필터 부착전 변압기의 2차측 전류파형으로 인버터의 정류부 전력변환장치에 의해 발생하는 전류고조파 왜형율은 2.6[%]의 전압불평형에 따라 각각 62, 95, 82[%]로 일정하지 않음을 확인하였다.

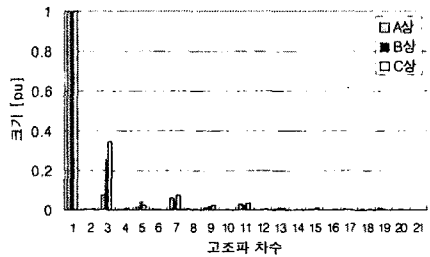
그림 2(b)는 초크코일 2차측에 필터 부착후 PCC측의 전류 파형을 측정해 나타낸 것이다. 전압불평형으로 각상별 전류 파형이 다르지만, 필터의 부착전에 비해 정현파에 가깝다.

그림 3 (a), (b)는 2.6[%] 3상 불평형 전압으로 운전시 필터의 부착 전후 각각 변압기 2차측에서 각상의 전류고

조파를 FFT로 분석한 결과를 나타낸 것이다.



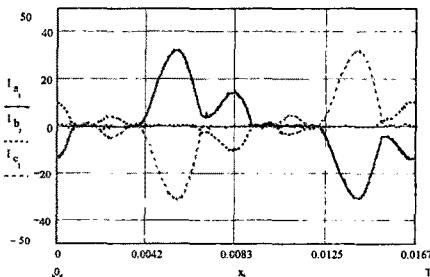
(a) 필터 미부착시 변압기 2차측 전류고조파



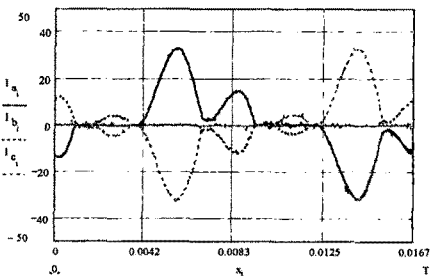
(b) 필터 부착시 변압기 2차측 전류고조파
그림 3. 상 전류 고조파

그림 3(a)에서 알 수 있듯이 불평형 전압원으로 인가하면 3, 5, 7 고조파 성분이 매우 크게 나타난다. 그러나 초크코일의 2차측에 부착한 후 불평형 전압원으로 비선형에서 인가하면 5고조파 전류는 감소하고 3, 7 고조파도 많이 감소함을 그림 3(b)에서 알 수 있다. 필터의 부착전 전체 전류 왜형 고조파가 각각 62, 95, 82[%]이던 것이 필터 부착후는 10, 26, 36[%]로 줄어들었다.

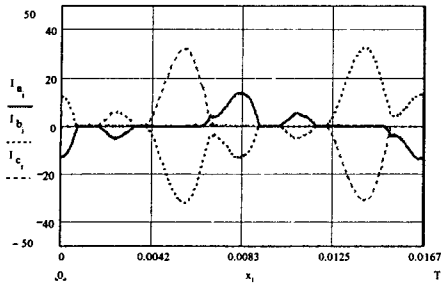
그림 4는 PCC에 필터 설치전후 변압기와 초크코일의 2차측 전류파형을 측정된 결과이다.



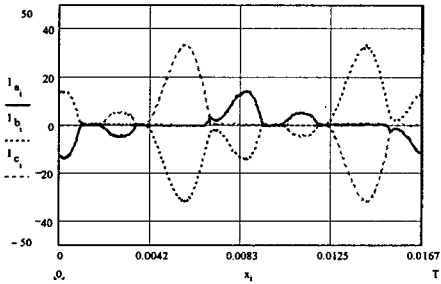
(a) 필터 미부착시 변압기 2차측 전류



(b) 필터 부착시 변압기 2차측 전류



(c) 필터 미부착시 초크코일 2차측 전류

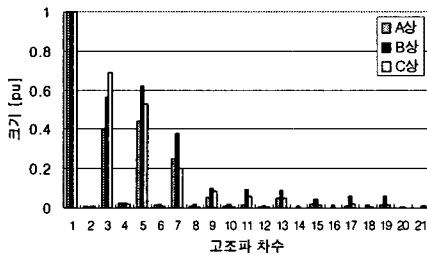


(d) 필터 부착시 초크 코일 2차측 전류

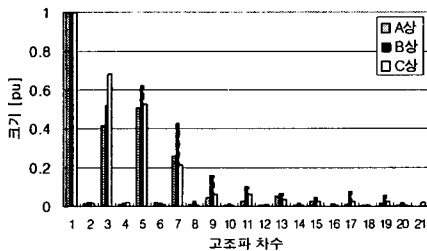
그림 4. 전류파형

그림 4의 전류파형은 그림 1의 PCC에 수동필터를 부착하여 2.6[%]의 전압불평형으로 비선형부하의 운전할 때 변압기 2차측과 초크코일 2차측 전류로서 초크코일 2차측에 수동필터를 설치하여 운전하는 것과는 달리 부차 전후에 거의 변화가 없다.

그림 5는 전압 불평형 전원으로 필터를 PCC에 부착하여 운전한 경우 그림 4의 (a), (b) 전류파형의 고조파 스펙트럼 분석 결과이다.



(a) 필터 미부착시 전류



(b) 필터 부착시 전류

그림 5. 상 전류 고조파

그림 5에서 전체 전류 고조파 왜형율은 필터 미부착

시의 65.1, 94.6, 90.2[%]에서 부착후 70.8, 95.3, 89.4[%]로 거의 변화가 없음을 알 수 있다. 따라서 비선형 부하에 의해 발생하는 고조파를 줄이기 위해 필터를 설계 적용할 때 발생부에 가장 가까운 곳에 설치하여 발생의 흐름을 제한시킬 필요가 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

3상 동력과 단상 전동·전열 부하에 저압전원공급방식으로 널리 적용되는 380/220[V]용 3상 4선식에서 단상부하의 사용은 전압불평형을 발생시키고, 고조파 전류를 증가시켜 시스템에 나쁜 영향의 미침을 실험으로 확인하였다. 그래서 전압불평형에 의한 영향을 분석하기 위해 상전압 및 선간전압에 대한 불평형과 비대칭에 대한 공식을 전개하였다.

본 논문은 비선형부하에서 발생하는 고조파의 영향을 줄이기 위해 필터를 부착하는 것이 설치위치에 따라 변하는 임피던스의 변화를 등가회로를 구성하여 분석하고, 평형 및 불평형에 따른 전류고조파 성분을 측정 분석하였다.

전동기의 역률개선용으로 설치하는 커패시터와 변압기의 유도성 리액턴스에 의한 공진임피던스 스캔결과는 비선형부하에서 발생하는 저차의 고조파를 저감할 수 없어 필터의 적용이 필요하지만, 설치 위치에 따라 고조파 저감의 영향이 있음을 실험으로 확인하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] Vijay B. Bhavaraju & Prasad N. Enjeti, "An Active Line Conditioner to Balance Voltages in a Three-Phase System", IEEE Trans on IAS, vol.32, no.2, pp.287-292, Mar/Apr. 1996
- [2] Lance G. Grainger & Roy C. Spencer, "Residual Harmonics in Voltage Unbalanced Power Systems", IEEE Trans on IAS, vol.30, no.5, pp.1398-1405, Sep/Oct. 1994
- [3] 김종걸, 손홍관, 이은웅, "선형 및 비선형 부하량에 따른 고조파 성분의 변화", 대한전기학회 논문지(B), 제 51권, 8호, pp. 441-448, 2002.8
- [4] Roger C. Dugan et al., Electrical Power Systems Quality, McGraw-Hill, 2002.
- [5] P. Pillay and M. Manyange, "Definitions of voltage unbalance", IEEE Power Eng. Rev. Mag., vol.5, pp.50-51, May 2001
- [6] Ching-Yui Lee, "Effects of Unbalanced Voltage on the Operation Performance of a Three-Phase Induction Motor", IEEE Trans on EC, Vol.14, No.2, pp.202-208, Jun.1999
- [7] 김종걸, 이은웅, "불평형 전압으로 운전시 비선형 부하에 나타나는 현상", 대한전기학회 논문지(B), 제 51권, 6호, pp. 285-291, 2002.6