

## 불평형 전원전압을 보상하는 3상3선식 직렬형 능동전력필터에 관한 연구

吳在勳\*, 韓潤錫, 金榮石, 元忠淵, 崔世玩

### A Study on Series Active Power Filter Compensating Unbalanced Source Voltage in 3phase-3wire system

Jae-hoon Oh, Yoon-seok Han, Young-seok Kim, Chung-yuen Won, and Se-wan Choi

#### 요 약

본 논문에서는 3상 3선식 전력시스템에서 전류 고조파와 전원 전압 불평형을 보상하는 직렬형 능동전력필터에 관하여 연구하였다. 직렬형 능동전력필터는 병렬형 수동필터와 병용으로 구성되어 수동필터의 고조파 보상 능력을 향상시켜주며, 전원측의 전류 고조파를 더욱 저감시키고, 전원 전압의 불평형을 보상하여 부하측에 평형한 전원 조건이 형성되도록 보상해 준다. 제안하는 제어 알고리즘은 전류 고조파 보상을 위한 방법과 전원 전압 불평형을 보상하는 방법으로 나누어지며 최종적인 보상 전압은 계산되어진 두 가지 보상 전압의 합의 형태가 되겠다. 전류 고조파 보상을 위한 보상 지령 전압은 정의되어진 성능함수에 의해 계산되어지며, 전원 전압 불평형 보상을 위한 보상 지령 전압은 동기 좌표를 이용하여 계산되어진다. 실험을 통하여 제안하는 알고리즘의 우수성을 입증하였다.

#### ABSTRACT

A series active power filter compensating current harmonics and unbalanced source voltages in a 3phase-3wire power system is presented. The system is composed of series active power filter and shunt passive filters that are tuned at 5th and 7th harmonics. The proposed series active power filter improves harmonic compensation characteristics of the shunt passive filters, reduces source side harmonic currents and compensates the unbalanced source voltages. In the proposed algorithm, compensation voltage for harmonic reduction is calculated by a performance function, and compensation voltage for the unbalanced source voltage is calculated based on the synchronous reference frame. Some results obtained from the experimental model using the proposed method are presented to demonstrate and confirm its validity.

**Key Words** : Series active power filter, Passive filter, Current harmonics, Voltage compensation, Voltage regulation, Performance function

#### 1. 서 론

\*인하대학교 대학원 전기공학과 석사과정  
E-mail : activefilter@hanmail.net  
접수일자 : 2001. 8. 3  
1차심사의뢰일 : 2001. 8. 4  
심사완료일 : 2001. 9. 3

최근 컴퓨터를 이용한 전기, 전자 장비, 각종 고정밀 기기 등과 여러 가지 비선형 부하의 사용 급증은 기존에는 큰 문제시되지 않았던 전력품질이라는 요소를 전력 공급자 측이나 수용자 측에 커다란 문제점으로 대

두시키고 있다. 전력품질 저하의 문제는 크게 전류와 전압의 문제로 대별 할 수 있고, 그 중 전류의 문제로는 고조파 전류와 역률 저하 등을 그리고 전압의 문제로는 순간 정전, 순간 전압 강하, 순간 전압 상승, 3상의 전압 불평형 등을 들 수 있다.

고조파 전류가 전력계통에 흐름에 따라 전원 전압이 왜곡되어 지고, 발전기·송전선과 변압기의 용량이 증대되며, 각종 전력 장치들에 열 및 진동을 발생시키고 이에 따라 절연 파괴의 문제 및 수명 단축의 문제를 야기할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 전통적인 방법으로 인덕터와 커패시터의 공진 회로를 이용한 수동필터를 들 수 있다. 하지만 수동 필터는 동조된 공진 주파수에 해당하는 고조파만을 제거할 수 있는 제한이 있고, 부피가 크다는 단점을 갖고 있다. 이에 최근에는 수동필터의 단점을 극복하고 더 우수한 성능을 보일 수 있는 능동전력필터와 그 여러 가지 토폴로지에 대한 연구가 활발하며, 국외에서는 어느 정도의 가시적인 성과도 나타나고 있는 실정이다<sup>[1-3]</sup>.

한편 전원 전압 불평형이나 전압 강하에 의한 문제는 전류 고조파에 의한 문제보다 직접적이고 그 규모도 크다 할 수 있다. 전압의 문제로 인해 각종 컴퓨터 시스템으로 동작하는 민감한 부하의 오동작이나 고장 등을 유발할 수 있으며, 비선형 부하에 저주파수의 고조파를 발생시키고, 제반 여러 소자나 시스템의 용량을 증대시키는 요인으로 작용할 수 있다. 이러한 전압의 문제를 해결하기 위한 일반적인 방법으로 정지형 무효전력 보상기가 사용되어졌지만 이것은 응답속도가 늦고, 계통에 고조파가 유입될 수 있으며, 큰 용량의 수동소자가 필요하다는 단점을 가지고 있다. 이에 최근에는 응답속도도 빠르고, 저렴하며 효율적인 전압형 인버터를 이용한 능동적인 전압 보상 방법이 활발히 연구되어 지고 있다<sup>[4-6]</sup>.

본 논문에서는 능동전력필터에 전원 전압 불평형을 보상하는 기능을 부가하여 고조파 보상 뿐 아니라 전반적인 전력품질 개선을 목적으로 하는 제어 알고리즘을 연구하였으며 실험을 통하여 그 타당성을 입증하였다.

## 2. 고조파 전류의 보상

기존의 직렬형 능동전력필터의 제어 알고리즘에서 다루었던 순시 무효전력은 부하에 의해서 생성된 양을 의미한다. 그러나, 본 논문에서 사용하는 알고리즘에서는 직렬형 능동전력필터로부터 발생된 각 상의 전력을

순시 무효 전력으로 나타낸다. 즉, 순시무효전력  $q_k$ 는 직렬형 능동전력필터의 각 상에서 발생하는 전력으로 다음 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$q_k = v_{Ck} \cdot i_{Sk} \quad (k = a, b, c) \quad (1)$$

식 (1)에서  $k$ 는 각 상을 나타내는  $a, b, c$  이며,  $v_{Ck}$ 는 직렬형 능동전력필터가 생성하는 각 상의 보상전압,  $i_{Sk}$ 는 각 상의 전원 전류를 나타낸다.

직렬형 능동전력필터는 순시 유효전력을 발생하지 않으므로 다음 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$v_{Ca} i_{Sa} + v_{Cb} i_{Sb} + v_{Cc} i_{Sc} = 0 \quad (2)$$

본 논문에서 다루는 3상3선식 전력계통의 경우 중성선이 존재하지 않기 때문에, 전압과 전류의 영상분이 존재하지 않고 따라서 직렬형 능동전력필터에서 발생되는 보상 전압은 다음 식 (3)을 만족한다.

$$v_{Ca} + v_{Cb} + v_{Cc} = 0 \quad (3)$$

직렬형 능동전력필터의 보상 전압은 식 (2)와 식 (3)을 만족하면서, 다음에 정의하는 성능 함수 (Performance function)를 최소화하는 전압으로 결정된다.

$$L = (v_{La} - v_{Ca})^2 + (v_{Lb} - v_{Cb})^2 + (v_{Lc} - v_{Cc})^2 \quad (4)$$

식 (4)의 성능함수는 부하측 전압과 보상전압과의 차로써, 성능함수가 최소가 되는 것은 전원측 전압의 고조파 성분이 최소가 됨을 의미한다. 계산되어진 보상 전압은 다음 식 (5)와 같다.

$$v_{Ca} = \frac{\sqrt{3}(i_{Sb} - i_{Sc}) \cdot q}{2(i_{Sa}^2 + i_{Sb}^2 + i_{Sc}^2 - i_{Sa}i_{Sb} - i_{Sb}i_{Sc} - i_{Sc}i_{Sa})}$$

$$v_{Cb} = \frac{\sqrt{3}(i_{Sc} - i_{Sa}) \cdot q}{2(i_{Sa}^2 + i_{Sb}^2 + i_{Sc}^2 - i_{Sa}i_{Sb} - i_{Sb}i_{Sc} - i_{Sc}i_{Sa})}$$

$$v_{Cc} = \frac{\sqrt{3}(i_{Sa} - i_{Sb}) \cdot q}{2(i_{Sa}^2 + i_{Sb}^2 + i_{Sc}^2 - i_{Sa}i_{Sb} - i_{Sb}i_{Sc} - i_{Sc}i_{Sa})} \quad (5)$$

여기서,

$$q = \frac{1}{\sqrt{3}} [(i_{Sb} - i_{Sc})v_{La} + (i_{Sc} - i_{Sa})v_{Lb} + (i_{Sa} - i_{Sb})v_{Lc}] \quad (6)$$

식 (6)은 식 (2)의 조건을 만족함으로써 얻어진 결과식이므로, 식 (6)의 q는 기존의 순시 무효전력의 정의식과 일치한다. 따라서 보상 지령 전압 내에는 순시 무효전력의 직류성분과 교류성분을 모두 포함하고 있다. 따라서 직류성분( $\bar{q}$ )과 교류성분( $\tilde{q}$ )으로 나누어 쓸 수 있으며 고조파만 보상할 경우 기존의 알고리즘과 마찬가지로 순시무효전력의 교류성분만( $\tilde{q}$ )을 보상분으로 사용하면 된다. 따라서 고조파 보상을 위한 능동전력필터의 최종 보상 지령 전압은 다음 식 (7)과 같다.

$$v_{Ca} = \frac{\sqrt{3}(i_{Sb} - i_{Sc}) \cdot \tilde{q}}{2(i_{Sa}^2 + i_{Sb}^2 + i_{Sc}^2 - i_{Sa}i_{Sb} - i_{Sb}i_{Sc} - i_{Sc}i_{Sa})}$$

$$v_{Cb} = \frac{\sqrt{3}(i_{Sc} - i_{Sa}) \cdot \tilde{q}}{2(i_{Sa}^2 + i_{Sb}^2 + i_{Sc}^2 - i_{Sa}i_{Sb} - i_{Sb}i_{Sc} - i_{Sc}i_{Sa})}$$

$$v_{Cc} = \frac{\sqrt{3}(i_{Sa} - i_{Sb}) \cdot \tilde{q}}{2(i_{Sa}^2 + i_{Sb}^2 + i_{Sc}^2 - i_{Sa}i_{Sb} - i_{Sb}i_{Sc} - i_{Sc}i_{Sa})} \quad (7)$$

본 논문에서는 보상 지령치의 연산과 간단한 필터링을 이용하여 식 (7)에 의해 고조파 전류 보상을 위한 보상 지령 전압값을 구하였다.

### 3. 불평형 전원 전압 보상

불평형 전압은 대칭 좌표법에 의하여 아래의 식 (8)과 같이 정상분(Positive Sequence Component), 역상분(Negative Sequence Component) 그리고 영상분(Zero Sequence Component)으로 나누어질 수 있다. 그 중 역상분과 영상분을 보상해 준다면 3상 평형한 전압을 얻을 수 있으며, 또한 정상분의 크기를 일정 지령값으로 조정한다면 원하는 전압 크기를 갖는 3상 평형한 전압 조건을 만들 수 있다. 식 (8)에서 첨자 P는 정상분, 첨자 N은 역상분 그리고 첨자 0은 영상분을 각각 나타낸다.

$$\begin{pmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{pmatrix} = V_P \begin{pmatrix} \sin \omega t \\ \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi) \\ \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi) \end{pmatrix} + V_N \begin{pmatrix} \sin \omega t \\ \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi) \\ \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi) \end{pmatrix} + V_0 \begin{pmatrix} \sin \omega t \\ \sin \omega t \\ \sin \omega t \end{pmatrix} \quad (8)$$

식 (8)로 표현되어지는 불평형 3상 전원 전압을 정상분에 동기하는 회전 좌표축 상으로 표현하기 위해 아래 식 (9)의 Park's 변환 행렬식을 이용하면 다음 식 (10)과 같이 표현되어진다.

$$[P] = \frac{2}{3} \begin{pmatrix} \cos \omega t & \cos(\omega t - \frac{2}{3}\pi) & \cos(\omega t + \frac{2}{3}\pi) \\ \sin \omega t & \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi) & \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix} \quad (9)$$

식 (10)에서 볼 수 있듯이 정상분에 동기하는 회전 좌표상에서 정상분은 DC값으로, 역상분은 2배 주파수에 해당하는 값으로 그리고 영상분은 그대로 영상분으로 표현됨을 알 수 있다.

제안하는 전압 보상 방법은 부하측 전압을 위의 식들을 이용하여 회전 좌표상으로 변환하고 필터링을 통하여 DC값 이외의 값들을 보상 지령치로 취하고 또한 DC값을 원하는 부하측 전압 크기와 비교하여 그 에러값을 보상 지령치에 더해 줌으로써 부하측을 원하는 전압 크기를 갖는 3상 평형한 전압 상태로 만들어 낸다.

$$\begin{pmatrix} V_d \\ V_q \\ V_0 \end{pmatrix} = [P] \begin{pmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ V_P \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} V_N \sin 2\omega t \\ -V_N \cos 2\omega t \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ V_0 \sin \omega t \end{pmatrix} \quad (10)$$

다음의 그림 1은 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 블록 다이어그램으로 나타낸 것이다. 정의되어진 성능함수에 의한 연산과 간단한 필터링에 의해 고조파 전

류 보상을 위한 지령전압이 구해지고, 또한 좌표변환에 의해 불평형 전원전압을 보상하고 부하전압의 크기를 조정할 수 있는 보상 지령전압이 구해진다. 최종적인 보상 지령전압은 두 가지 연산값의 합의 형태가 되겠다.

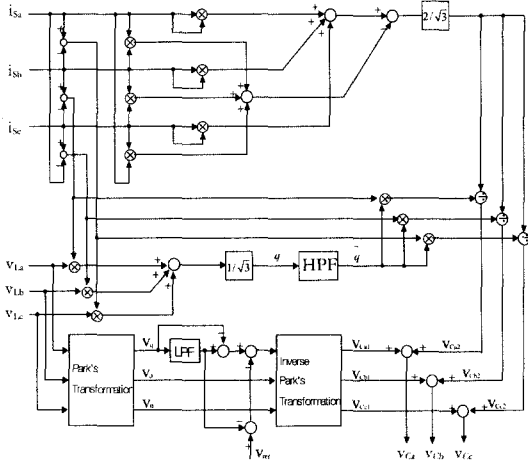


그림 1 제안하는 보상 알고리즘의 블록 다이어그램  
Fig. 1 Block diagram of the proposed compensation algorithm

4. 실험 시스템의 구성

그림 2는 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 검증하기 위해 구성된 시스템을 나타낸다. 전체 시스템은 병렬 수동필터와 직렬형 능동전력필터의 병용시스템으로 구성되었다. 수동필터는 5차와 7차 고조파에 동조되었으며, 직렬형 능동전력필터는 전원과 부하 사이에 3개의 단상 결합 변압기를 통해 계통에 직렬로 접속되었다. 직렬형 능동전력필터의 주 회로는 3상 전압형 PWM 인버터로 구성되었으며, 부하로는 고조파 전류원으로 작용하는 2차측에 저항과 인덕터 성분을 갖는 3상 전 브릿지 다이오드 정류기를 사용하였다. 보상 지령전압의 빠른 연산을 위해서 32bit DSP인 TMS320C31을 사용하였으며, 샘플링 시간은 143μsec 으로 하였다. 게이트 인가신호는 Co-processor인 ADMC201을 사용하여 구현하였다. 전원 측에는 단권 변압기 구조의 슬라이덕스를 설치하여 전원 전압을 가변할 수 있도록 구성하였다.

표 1에는 구성된 시스템의 각 회로 정수 값들을 나타내고 있다.

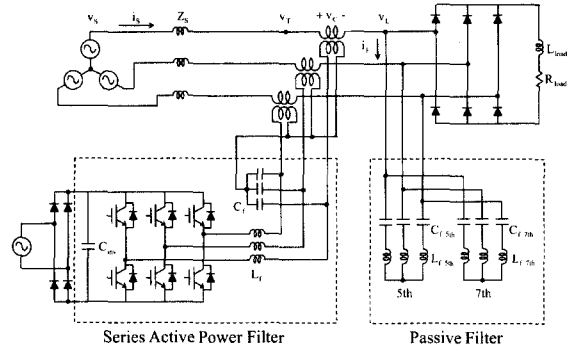


그림 2 직렬형 능동전력필터와 병렬 수동필터 병용 시스템

Fig. 2 Combined system of series active power filter and shunt passive filters

표 1 시스템 회로 정수  
Table 1 The system parameter

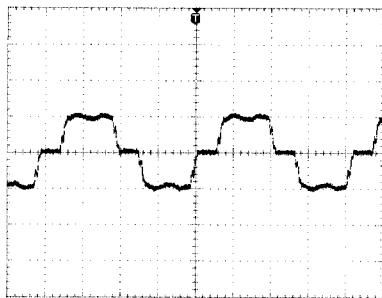
전원전압	100[Vrms], 60[Hz]	
전원측 인덕턴스(L <sub>s</sub> )	0.1[mH]	
결합변압기 권수비	1 : 1	
부하 인덕턴스(L <sub>load</sub> )	15[mH]	
부하 저항(R <sub>load</sub> )	30[Ω]	
인버터 DC링크 콘덴서	2350[uF]	
LC필터 인덕터(L <sub>f</sub> )	4[mH]	
LC필터 커패시터(C <sub>f</sub> )	0.5[uF]	
5차 수동필터	인덕터	2[mH]
	커패시터	140[uF]
7차 수동필터	인덕터	2[mH]
	커패시터	70[uF]

5. 실험 결과

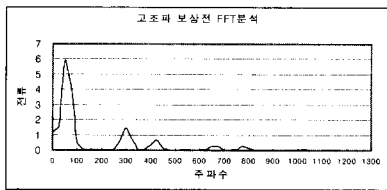
$$\begin{aligned}
 THD &= \frac{1}{I_1} \sqrt{\sum_{n=3}^{\infty} I_n^2} \times 100 [\%] \\
 UF &= \frac{V_N}{V_P} \times 100 [\%] \\
 MF &= \frac{V_P}{V_{ref}} \times 100 [\%]
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

고조파 전류 보상의 지표로는 THD(Total Harmonic Distortion)를, 전원 전압 불평형 보상의 지표로는 UF(Unbalance Factor)와 MF(Magnitude Factor)를 각각 사용하였으며 그 정의는 다음의 식 (11)와 같다.

그림 3은 보상 알고리즘을 적용하기 전의 a상의 전류 파형과 그 FFT(Fast Fourier Transform) 분석을 나타낸다. THD는 31.63%로 주로 5차와 7차 고조파에 의해서 전류 파형이 많이 왜곡되어졌으며 그 외에도 고차고조파 성분들이 포함되어 있음을 볼 수 있다.



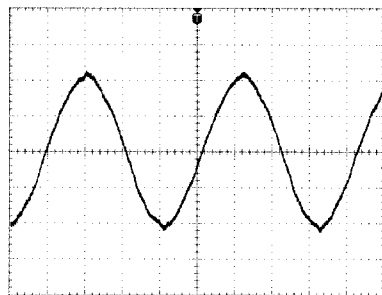
(a) 고조파 보상전 a상 전류(10A/div, 4ms/div)



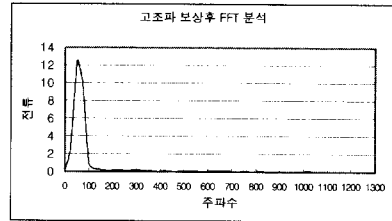
(b) 고조파 보상전 a상 전류 FFT 분석(100Hz/div)

그림 3 고조파 보상 전 a상 전원 전류와 FFT분석  
Fig. 3 Source current and it's FFT analysis before harmonic compensation

다음의 그림 4는 고조파 보상 알고리즘만을 적용하였을 경우의 a상 전류 파형과 그 FFT분석 결과를 나타낸다.



(a) 고조파 보상 후 a상 전류(10A/div, 4ms/div)

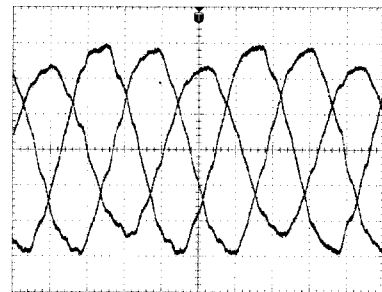


(b) 고조파 보상후 a상 전류 FFT 분석(100Hz/div)

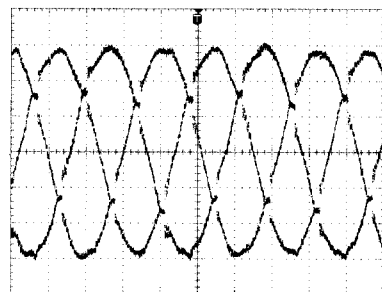
그림 4 고조파 보상 후 a상 전원 전류와 FFT분석  
Fig. 4 Source current and it's FFT analysis after harmonic compensation

THD는 2.49%로 권장치인 5% 이하를 만족하는 보상 결과를 보이고 있다. 능동전력필터에 의해서 5차와 7차에 동조된 수동필터의 성능이 극대화되어져서 아주 미미한 양만이 전원 전류에 존재함을 알 수 있고, 나머지 고차 고조파들도 능동필터에 의해서 억제되어짐을 볼 수 있다.

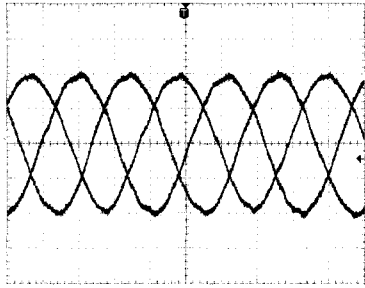
그림 5와 그림 6은 불평형 3상 전원이 인가된 상태에서 고조파 보상과 전원 전압 불평형 보상을 동시에 시행한 결과를 보여주고 있다.



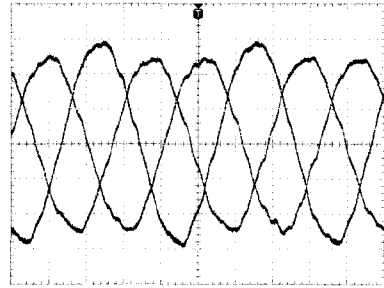
(a) 3상 전원측( $v_r$ ) 전압  
(50V/div, 4ms/div)



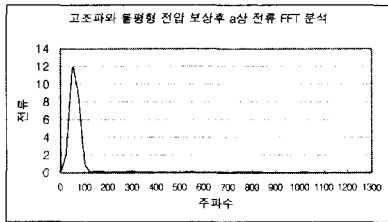
(b) 전압 보상 후 부하측 3상 전압  
(50V/div, 4ms/div)



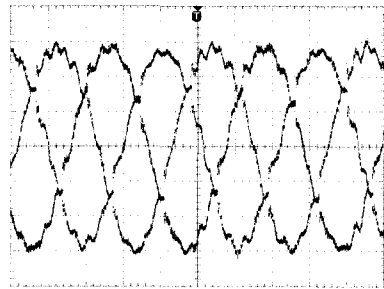
(c) 보상 후 전원측 3상 전류(10A/div, 4ms/div)



(a) 3상 전원측( $v_r$ ) 전압(50V/div, 4ms/div)



(d) 보상 후 a상 전류 FFT 분석 결과(100Hz/div)



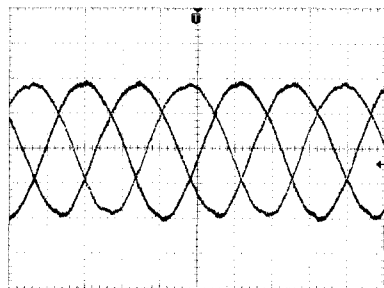
(b) 전압 보상 후 부하측 3상 전압(50V/div, 4ms/div)

그림 5 1상 전압 강하의 경우 전류 및 전원 전압 보상 결과  
Fig. 5 Results of current harmonics and unbalanced voltage compensation in the case of single-phase voltage sag

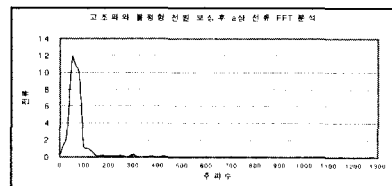
그림 5는 1상의 전원 전압의 크기가 강하하여 전압의 불평형 계수(UF)는 7.14%이고 크기 계수(MF)는 93.33%이다. 제안한 알고리즘을 적용한 결과 불평형 계수는 1.18%, 크기 계수는 101.67%로 우수한 보상 특성을 보임을 알 수 있다. 또한 a상 전류의 THD 분석 결과도 2.84%로 전류 고조파 보상도 우수하게 수행되고 있음을 알 수 있다.

그림 6은 2상의 전압이 강하하여  $UF = 5.56\%$ ,  $MF = 89.99\%$  인 불평형 전원 조건일 경우의 보상 결과를 나타내고 있다. 보상 결과  $UF = 1.8\%$ ,  $MF = 100.7\%$  로 각각 개선 되었으며 고조파 전류 보상 결과도  $THD = 3.18\%$  로 역시 기준치를 만족하는 보상 결과를 보이고 있다.

직렬형 능동 전력 필터와 병렬형 수동필터의 병용 시스템을 구성하고 실험에 의하여 제안한 알고리즘을 평가한 결과  $THD = 2 \sim 3\%$ ,  $UF = 1 \sim 2\%$ ,  $MF = 100 \sim 101\%$  를 보임으로써, 제안한 알고리즘에 의해서 고조파 전류 보상은 물론 전원측의 전압 불평형을 보상하여 부하측 전압을 일정 크기의 평형한 3상 전원 조건으로 만들 수 있음을 확인하였다.



(c) 보상 후 전원측 3상 전류(10A/div, 4ms/div)



(d) 보상 후 a상 전류 FFT 분석 결과(100Hz/div)

그림 6 2상 전압 강하의 경우 전류 및 전원 전압 보상 결과  
Fig. 6 Results of current harmonics and unbalanced voltage compensation in the case of two-phase voltage sag

## 6. 결 론

본 논문에서는 고조파 전류 보상과 전압 전압 불평형을 동시에 보상하는 직렬형 능동전력필터의 제어 알고리즘을 제안하고 그 타당성을 실험을 통하여 증명하였다.

정의되어진 성능함수에 의해서 고조파 전류를 보상하기 위한 보상 지령 전압을 직접 연산하기 때문에, 기존의 고조파 전류 성분을 구해내고 그것에 일정 계인을 곱하여 보상지령 전압을 도출하는 방법에 비하여 조금 더 간단하게 직렬형 능동전력필터를 제어할 수 있었다. 또한, 부하측 전압을 이용하여 불평형 전압을 보상하고 부하측 전압을 일정크기로 유지하기 때문에 보다 안정적으로 부하측의 전원 상태를 만들 수 있었다.

제안하는 알고리즘에 의해서 직렬형 능동전력필터의 이용률을 높일 수 있으며, 좀 더 우수한 전력 품질을 만들 수 있음을 확인하였다.

본 연구(관리번호 98-중-03)는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학 공동연구소 주관으로 수행 되었음.

## 참 고 문 헌

[1] F. Z. Peng, et. al., "A New Approach to Harmonic Compensation in Power Systems-A Combined System of Shunt Passive and Series Active Filter", *IEEE Trans. Industry Application*, Vol. 26, No. 6, pp. 983~990, 1990.

[2] S. Bhattachaya, et. al., "Synchronous Frame Harmonic Isolator using Active Series Filter", *EPE FIRENZE Conf. Record*, Vol. 3, pp. 30~35, 1991.

[3] T. Furuhashi, et. al., "A Study on the theory of Instantaneous Reactive Power", *IEEE Trans. Industrial Electronics*, Vol. 37, No. 1, pp. 86~90, 1990.

[4] A. Campos, et. al., "Analysis and Design of a Series-Connected PWM Voltage Regulator for Single Phase AC Sources", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, Vol. 32, No. 6, pp. 1285~1292, 1996.

[5] K. Haddad, et. al., "Distribution System Voltage Regulation under Fault Conditions Using Static Series Regulators", *IEEE IAS Conf. Record*, pp. 1383~1389, 1997.

[6] A. Campos, et. al., "Analysis and Design of a Series Voltage Unbalance Compensator Based on a Three

-Phase VSI Operating with Unbalanced Switching Functions", *IEEE Trans. Power Electronics*, Vol. 9, No. 3, pp. 269~274, 1994.

[7] H. Fujita, et. al., "The Unified Power Quality Conditioner : The Integration of Series and Shunt Active Filters", *IEEE Trans. Power Electronics*, Vol. 13, No. 2, pp. 315~322, 1998.

[8] L. Moran, et. al., "Series Active Power Filter Compensates Current Harmonics and Voltage Unbalance Simultaneously", *IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib.*, Vol. 147, No. 1, pp. 31~36, 2000.

[9] Peter Vas, "Vector Control of AC Machines", *CLARENDON PRESS*, 1990.

[10] 우원명, 한윤석, 김영석, 원충연, 최세완, "직접 보상전압 추출기법을 이용한 새로운 직렬형 능동전력필터", *전력 전자학회 논문지*, 제6권, 제3호, pp. 258~264, 2001.

## 저 자 소 개



**오재훈(吳在勳)**  
1974년 8월 20일생. 2000년 2월 인하대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.



**한윤석(韓潤錫)**  
1972년 8월 5일생. 1995년 2월 인하대 전기공학과 졸업. 1997년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 (주)아크로센스 선임연구원.



**김영석(金榮石)**  
1951년 6월 11일생. 1977년 인하대 전기공학과 졸업. 1987년 일본 나고야대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1987년~1989년 전기연구원 전력전자연구실장. 현재 인하대학교 전기공학과 교수. 당 학회 재무이사.



**원충연(元忠淵)**

1955년 5월 10일생. 1978년 성균관대 전기공학과 졸업. 1980년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1997년 12월~1992년 12월 미국 테네시 주립대학 전기공학과 방문교수. 1988년 3월~현재 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터 공학부 교수. 당 학회 편집이사.



**최세완(崔世琬)**

1963년 3월 3일생. 1985년 인하대 전자공학과 졸업. 1992년 Texas A&M Univ. 전기공학과 졸업(석사). 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1996년~1997년 삼성전기 종합연구소 수석연구원. 1997년 ~현재 서울산업대학교 제어계측공학과 조교수. 당 학회 편집위원.