

# 직접 보상전압 추출기법을 이용하여 고조파전류와 무효전력을 보상하는 3상 4선식 직렬 형 능동전력필터의 제어법

金振鮮<sup>†</sup>, 金榮石<sup>\*</sup>

## Three-phase Four-wire Series Active Power Filter Control Strategy for The Compensation of Harmonics and Reactive Power Based-on Direct Compensating Voltage Extraction Method

Jin-Sun Kim and Young-Suk Kim

### 요 약

최근에, 평활용 직류 커패시터가 설치된 다이오드 정류기가 가전제품 및 교류 운전 장치와 같은 전자 장치에 점점 많이 사용되고 있고, 이러한 부하에 의해서 발생하는 고조파 문제가 점차 중요한 문제로 부각되고 있다. 또한, 3상 4선식 전력 시스템은 상업용 빌딩이나 제조 플랜트 등에 전력을 공급하는 방법으로 많이 사용되고 있는데 이러한 시스템에서는 중성선에 과도한 전류가 흐르게 되고, 중성선 전류는 기본적으로 3고조파 성분으로 중성선 도체 사이즈 선정의 실패나 중성점의 전위를 상승시키거나 변압기의 과열 현상 등을 유발할 수 있다. 이러한 관점에서 본 논문에서는 직접 보상전압 추출기법으로 동작하는 직렬 형 능동 필터를 제안하며, 성능함수 알고리즘의 장점은 계산을 곱하지 않고 보상 전압을 직접 구하므로써, 어떠한 다른 알고리즘보다 보상 전압 계산 방법이 간단하다. 제안된 알고리즘의 타당성을 증명하기 위하여 프로토타입 능동 필터를 제작하여 실험을 수행 하였다.

### ABSTRACT

In recent years, since more and more diode rectifiers with smoothing dc capacitor are used in electronic equipments, household appliances and ac drives, harmonics generated by these loads have become a major issue. In addition, 3-phase 4-wire system is widely employed in distributing electric energy to several office building and manufacturing plants. This systems show excessive currents in the neutral. These neutral currents are fundamentally third harmonic, and their presence is tied to wiring failure, elevating of neutral potentials, transformer overheating, etc. In response to the concerns, this paper proposes a series active power filter scheme based on direct compensating voltage extraction method and the advantage of this control algorithm is direct extraction of compensation voltage reference without multiplying gain. Therefore, the calculation of the compensation voltage reference will becom much simpler than other control algorithm. To verify the effectiveness of the proposed algorithm, a prototype active power filter is built and some experiments are carried out.

**Key Words** : Harmonic currents, Reactive power, Series active power filter, THD, 3-phase 4-wire system, Direct compensating voltage extraction method.

### 1. 서 론

전동기 구동시스템, SMPS, 컴퓨터시스템 등 사이리

스터나 다이오드 정류기와 같은 반도체 전력변환장치를 사용하는 부하는 비선형 부하로 동작하여 전원 측에 심각한 고조파를 발생시키는 주요한 원인이 된다.

이러한 고조파 전류는 전원전압의 왜곡 및 전기 기기, 케이블, 진상 콘덴서 등 각종 전력설비들의 절연파괴나 수명 단축을 야기할 수 있다. 그리고, 계측장비와 같은 각종 전자장비의 오 동작이나 EMI 현상을 야기하며, 통신 시스템에 간섭을 일으키는 등의 전자 환경적인 문제를 야기하게 된다. 또한, 전동기에 이상 진동 토크를 발생시키고 철손, 동손 등의 손실을 증대시키게 된다<sup>[1]</sup>. 이러한 고조파장해의 문제를 해결하기 위한 방법으로 여러 형태의 수동필터와 직·병렬 능동필터가 소개되어 왔다.<sup>[2-5]</sup>

고조파제거를 위해 사용되는 수동필터는 저가이지만 특정 차수의 고조파만을 선택적으로 보상할 수 있고, 전원 측 임피던스와 직렬 공진을 일으킬 가능성을 항상 내재하고 있다. 이러한 수동필터의 단점을 보완하기 위해 능동필터가 개발되었다. 능동전력필터에는 보상 전류를 주입해주는 병렬 형<sup>[4]</sup> 보상전압을 주입해주는 직렬 형<sup>[7]</sup>, 그리고 수동필터와 능동필터를 병용하는 방식<sup>[6]</sup> 등이 주로 개발되어 왔다.

이러한 능동전력필터 중 지금까지는 주로 병렬 형 능동전력필터에 대한 연구가 활발히 진행되어왔고, 산업현장에 널리 채택되었다. 하지만, 이러한 병렬 형 능동전력필터는 고조파 전류 원 보상에 적합한 방식이다.<sup>[8]</sup> 따라서, 급속히 증가하고 있는 고조파 전압원에 대한 보상을 효과적으로 수행할 수 있는 직렬 형 능동전력필터에 대한 중요성이 점점 증가하고 있다.

특히, 최근에는 복사기, 형광등, 컴퓨터, 팩스, 에어컨 등, 고조파 전압 원으로 동작하는 부하들이 빠르게 증가하고 있기 때문에 이와 같은 고조파 전압 원 형태의 부하에 대한 대책이 점점 더 중요해지고 있다.

또한 중성선이 없는 3상 3선식 시스템에 대한 능동전력필터는 오래 전부터 많은 연구가 수행되어 성공적으로 개발되었고, 실제 산업현장에 적용되고 있다.<sup>[3]</sup> 그러나, 기존의 대표적인 3상 3선식 알고리즘인 Akagi의 순시무효전력이론<sup>[10]</sup>이나, 동기좌표계 이론<sup>[11]</sup>은 병렬 형 능동필터를 기준으로 제안한 알고리즘으로 3상 3선식에만 적용 가능하거나 보상전압을 구하기 위하여 보상 전류를 먼저 구하고 계인을 곱하여 보상전압을 구하는 형태로 상업용이나 업무용 빌딩에 채택되는 3

상 4선식 시스템에 대해서는 그 성능을 확실히 보장해 줄 수가 없기 때문에 3상 4선식 시스템에 대한 새로운 알고리즘이 요구되고 있다.

고조파나 부하 불평형 외에 업무용이나 상업용 빌딩 등에 주로 채택되는 3상 4선식 배전시스템에서는 비선형 부하의 증가에 따라 중성선 전류가 크게 증가하게 된다. 이러한 중성선 전류의 증가는 중성선 자체뿐만 아니라, 중성 선에 연결된 변압기 등의 용량증대를 가져오게 되고 상 전압이 불안정해지는 주요한 요인이 되기 때문에 정밀한 전원이 요구되는 시스템의 오 동작 원인이 되기도 한다.<sup>[13,15]</sup> 따라서, 3상 4선식 시스템에서는 고조파와 역률 개선뿐만 아니라 중성선 전류를 제거하기 위한 알고리즘이 절실히 요구되고 있다.

본 논문에서는 고조파 전압 원 부하를 가지는 3상 4선식 시스템에서 비선형 부하로부터 발생하는 고조파와 역률 저하를 보상하고, 상전류의 약 1.5배에 이르는 중성선 전류를 효과적으로 제거하기 위한 직렬 형 능동전력필터의 제어알고리즘을 제안하였다.

이 제어법은 기존의 제어법<sup>[12]</sup>에서 제안한 p-q 이론을 적용한 방법과 비교하여 상변환 과정과 고조파 및 무효전력 보상 시 필터링하는 과정이 생략되기 때문에 DSP를 사용해서 보상기준전압을 연산해 내는 시간을 단축함으로써 무효전력의 실시간 제어에 더 근접할 수 있는 요건을 제공해 주어 능동필터의 성능개선에 기여하게 된다. 또한 연산된 결과가 전압의 형태로 구해지므로 보상전류에 이득을 구하여 전압을 보상하는 것과 비교하여 보다 쉬운 운전이 가능하다. 본 논문에서 제안된 제어방법으로 보상 시 샘플링 시간은 30[ kHz]로 p-q 이론을 적용해서 실험한 경우의 25[ kHz] 보다 짧아짐을 알 수 있었다.

제안된 제어알고리즘의 유효성을 입증하기 위해서 고조파 전압 원 부하와 고조파 전류 원 부하를 구성하여 실험을 수행하였고, 실험결과를 제시하였다.

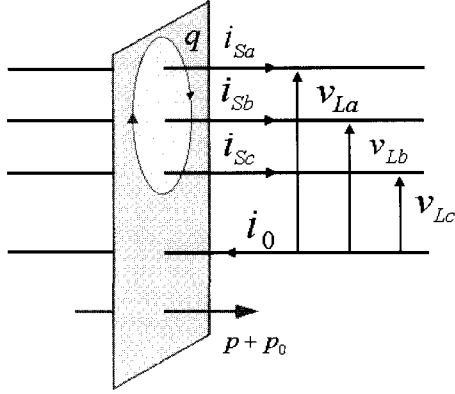
## 2. 3상 4선식 직렬 형 능동필터의 보상원리

본 절에서 제안하는 알고리즘에서는 순시무효전력을 부하에서 발생하는 무효전력 대신에 능동전력필터에서 발생된 각 상의 전력을 순시 무효전력으로 정의한다. 이것은 능동전력필터가 순시 유효전력을 발생하지 않기 때문에 유효하다. 따라서 순시 무효전력  $q_k$ 는 다음 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.<sup>[2,14]</sup>

†교신저자 : 정회원, 인하대 전기공학과 박사과정  
E-mail : jsk2473@hanmail.net

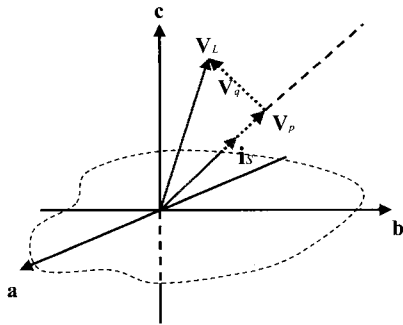
\*평의원, 인하대 인하대 전자·전기공학부 교수  
접수일자 : 2003. 8. 19 1차 심사 : 2003. 9. 19  
2차 심사 : 2003. 12. 6 3차 심사 : 2004. 1. 8  
심사완료 : 2004. 1. 16

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



$p + p_0$ : 전체 순시 전력 흐름  
 $q$ : 순시 무효전력의 흐름

(a) 3상 4선식 전력시스템에 대한 순시전력의 흐름



(b) 순시 유효전압벡터와 순시 무효전압 벡터

그림 1 3상 4선식 전력 시스템에 대한 전체에너지 흐름의 물리적 의미

Fig. 1 The physical meaning of total energy flow for 3-phase 4-wire systems

식 (1)에서  $k$ 는 각 상을 나타내는  $a, b, c$ 이며,  $v_{Ck}$ 는 직렬 형 능동전력필터가 생성하는 각 상의 보상전압,  $i_{Sk}$ 는 각 상의 전원 전류를 나타낸다. 직렬 형 능동전력필터는 순시 유효전력을 발생하지 않으므로 능동필터에서 발생되는 모든 전력은 부하로 전달되지 않고 상 사이에서 회전하는 무효전력성분이 된다. 따라서, 식 (1)을 다음 식 (2) 와 같이 능동전력필터에서 발생되는 전력의 합을 0 으로 놓을 수 있다.

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

직렬 형 능동전력필터의 보상 전압은 식 (2)를 만족 하면서, 다음에 정의하는 성능 함수를 최소화하는 전압으로 결정된다.

$$L = (v_{La} - v_{Ca})^2 + (v_{Lb} - v_{Cb})^2 + (v_{Lc} - v_{Cc})^2 \quad (3)$$

식 (3)에서  $k$ 는 각 상을 나타내는  $a, b, c$ 이며,  $v_{Lk}$ 는 각 상의 부하 측 전압을 나타낸다. 3상 4선식 시스템인 경우는 부하전압과 상전류에 영상분이 존재할 수 있기 때문에 3상 4선식 직렬 형 능동전력필터에서는 부하전압에서 순시 유효전압을 발생하는 순시 유효전압벡터를 빼서 보상기준전압을 구해낸다. 그림 1에서도 볼 수 있듯이 순시 유효전압벡터  $V_p$ 는 전원 전류와 동상인 부하전압의 벡터 성분을 나타내고, 순시 무효전압벡터  $V_q$ 는 순시 유효전압벡터  $V_p$ 에 수직인 전압벡터 성분을 나타낸다. 여기서, 순시 유효전압벡터를 다음 식 (4)에서와 같이 벡터의 놈(norm)에 의해서 구해낼 수 있다<sup>[12]</sup>.

$$\begin{aligned} v_{p(a,b,c)} &= \text{proj}_i v_L = \frac{v_L \cdot i_S}{\|i_S\|^2} i_S \\ &= \frac{v_{La}i_{Sa} + v_{Lb}i_{Sb} + v_{Lc}i_{Sc}}{i_{Sa}^2 + i_{Sb}^2 + i_{Sc}^2} i_{S(a,b,c)} \\ &= \frac{\mathcal{P}}{i_{Sa}^2 + i_{Sb}^2 + i_{Sc}^2} i_{S(a,b,c)} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} v_{pa} &= i_{Sa} \cdot \mathcal{P} / (i_{Sa}^2 + i_{Sb}^2 + i_{Sc}^2) \\ v_{pb} &= i_{Sb} \cdot \mathcal{P} / (i_{Sa}^2 + i_{Sb}^2 + i_{Sc}^2) \\ v_{pc} &= i_{Sc} \cdot \mathcal{P} / (i_{Sa}^2 + i_{Sb}^2 + i_{Sc}^2) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} v_{Ca} &= v_{La} - i_{Sa} \cdot \mathcal{P} / (i_{Sa}^2 + i_{Sb}^2 + i_{Sc}^2) \\ v_{Cb} &= v_{Lb} - i_{Sb} \cdot \mathcal{P} / (i_{Sa}^2 + i_{Sb}^2 + i_{Sc}^2) \\ v_{Cc} &= v_{Lc} - i_{Sc} \cdot \mathcal{P} / (i_{Sa}^2 + i_{Sb}^2 + i_{Sc}^2) \end{aligned} \quad (6)$$

식 (3)의 성능함수는 식 (5)의 전압에서 최소가 되는 데 이 보상기준전압은 부하전압에서 순시유효전압을 빼줌으로 써 얻을 수 있다. 단 무부하시 각상에 흐르는 전류는 0이 되고 식 (5)의 결과는 수식적으로 불능이나 DSP에서의 출력전압은 0이 되어 식 (6)에서 무부하시의 보상전압은 부하전압과 같게 된다. 식 (5) 및 (6)의 순시유효전력  $\mathcal{P}$ 는 다음 식 (7)과 같다.

$$p = v_{La} \cdot i_{Sa} + v_{Lb} \cdot i_{Sb} + v_{Lc} \cdot i_{Sc} \quad (7)$$

이상과 같이 기존의 직렬 형 능동전력필터의 제어법에서는 상전류의 고조파를 연산해내고, 이 고조파전류에 특정한 계인을 곱하여 직렬 형 능동전력필터의 최종적인 보상기준전압을 구해내었지만, 본 논문에서 제안된 성능함수를 이용한 제어법에서는 식 (6)에서와 같이 부하전압과 전원 전류 값으로부터 연산에 의하여 보상전압을 얻을 수 있다<sup>[9]</sup>. 또한 고조파 성분을 보상해줌으로 인하여 추가적인 알고리즘 없이 3상 4선식 시스템에서 문제가 되는 영상 분 보상이 가능하다.

그림 2에 3상 4선식 직렬 형 능동전력필터의 제어 알고리즘을 나타내었다.

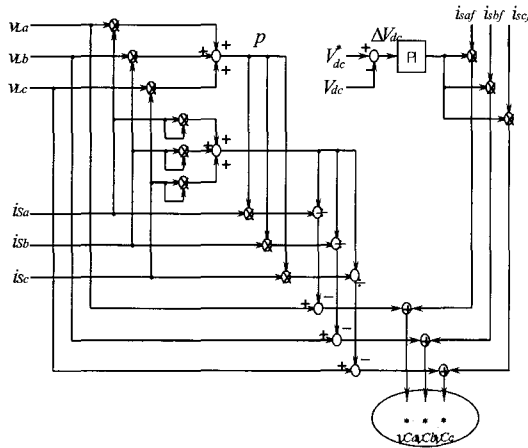


그림 2 3상 4선식 직렬 형 능동전력필터의 제어 알고리즘  
Fig. 2 The control algorithm of 3-phase 4-wire series active power filter.

3상 부하전압과 3상 전원전류를 검출회로를 통해서 받아와서 식 (6)에 의해 보상기준전압을 구해내었고, 인버터 DC 전압을 일정하게 제어하기 위한 PI 제어를 추가하여 최종적인 보상기준전압을 구해내었다.  $V_{dc}$ 는 PT를 통해 받아들인 실제 인버터의 DC 전압이고,  $V_{dc}^*$ 는 인버터 DC 전압의 기준전압을 의미한다. 또한,  $i_{Saf}$ ,  $i_{Sbf}$ ,  $i_{Scf}$ 는 low-pass filter를 통해서 얻어진 3상 전원전류의 기본파 성분을 나타낸다.

### 3. 시스템의 구성

그림 3에 실험에 사용된 3상 4선식 직렬 형 능동 전력시스템의 회로도도를 나타내었다. 부하로서 3상 다이

오드 정류기에 15 [ $\Omega$ ] 저항과 2400 [ $\mu F$ ] 커패시터를 각각 병렬로 연결하여 구성하였다. 전원은 실험치 110[V]를 인가하였고, 전원 측 인덕턴스 LS는 실제 배전시스템에서 작용하는 임피던스를 고려하여 0.1[mH] 인덕터를 설치하였다.

인버터 DC단 커패시터의 용량은 2350[ $\mu F$ ]이고, 인버터의 스위칭 리플 전류를 저감시키기 위하여 0.5 [ $\mu F$ ]-4[mH]의 커패시터와 인덕터를 선정하여 LC필터를 구성하였다. 직렬 형 능동전력필터는 3상 전압 형 PWM 인버터를 교류 전원과 비선형 부하 사이에 3개의 결합변압기로 계통에 직렬 접속하여 구성하였다. 표 1에 시스템 정수 값을 나타내었다.

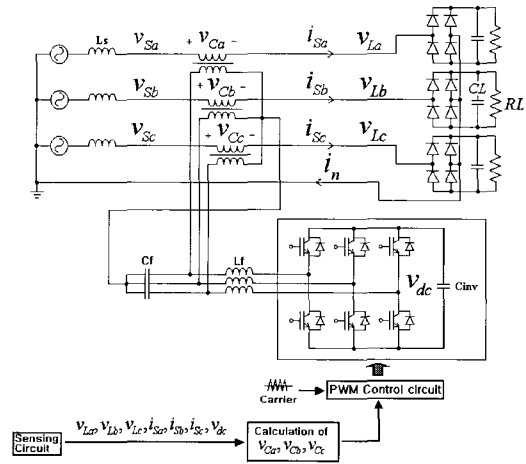


그림 3 3상 4선식 R-C 부하 직렬형 능동전력필터 회로도  
Fig. 3 3-phase 4-wire series active power filter circuit for R-C loads

표 1 3상 4선식 능동전력필터 R-C 부하시스템 회로정수

Table 1 The parameters of series active power filter in three-phase four-wire systems with R-C loads

전원전압	110[Vrms], 60[Hz]
전원 인덕턴스(Ls)	0.1[mH]
인버터 DC-link 커패시턴스(Cinv)	350[ $\mu F$ ]
LC 필터 인덕턴스(Lf)	4[mH]
LC 필터 커패시턴스(Cf)	0.5[ $\mu F$ ]
부하 커패시턴스(CL)	2400[ $\mu F$ ]
부하저항(RL)	15[ $\Omega$ ]

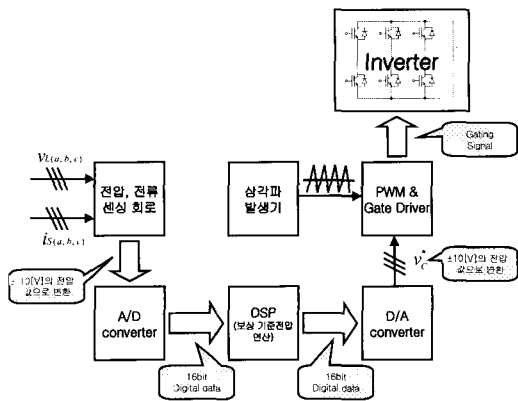
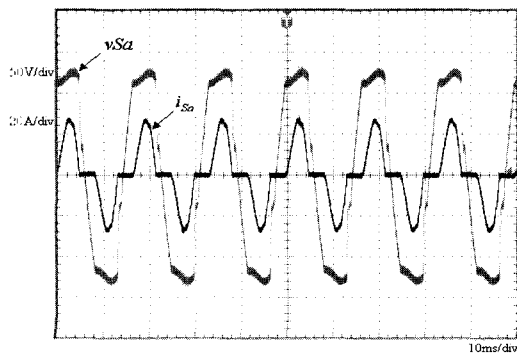


그림 4 직렬형 능동필터 제어회로의 블록다이아그램  
Fig. 4 Block diagram of series active power filter's control circuit

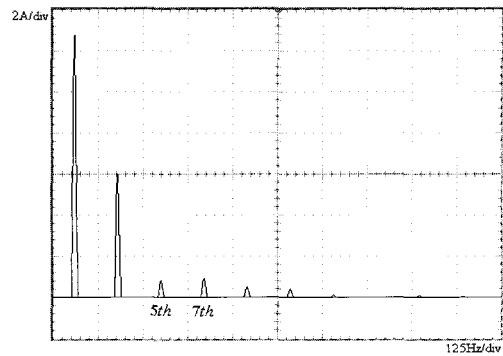
그림 4에 직렬형 능동필터의 제어회로에 대한 블록 다이아그램을 나타내었다. PT와 CT를 통해  $\pm 10[V]$ 의 전압 값으로 변환된 부하전압과 상전류가 A/D 변환기를 통해 16bit의 디지털 값으로 변환되어 DSP로 입력된다. DSP에서는 이를 실제 전압, 전류 값으로 변환한 후에 보상기준전압을 연산해내게 된다.

연산된 보상기준전압은 다시 D/A 변환기를 통해 아날로그 신호로 변환되어 PWM 발생회로로 넘겨지게 되고, PWM 회로에서 발생된 제어 신호가 인버터 구동회로를 거쳐 인버터를 구동시켜주도록 제어회로를 구성하였다. IGBT drive IC를 사용해서 게이트 드라이버와 보호회로를 구성하였고, 능동전력필터의 정확하고 빠른 제어를 위해서 실시간 제어에 적합한 TI사의 TMS320C6701 floating point DSP를 사용하여 20 [kHz]로 인버터를 구동하였다.

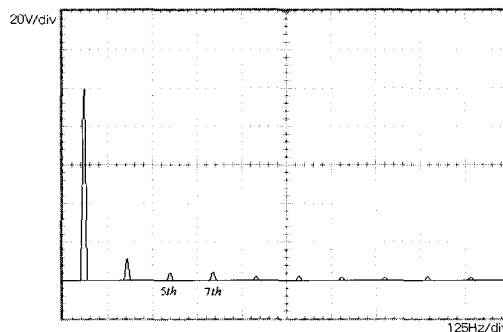
4. 실험 및 고찰



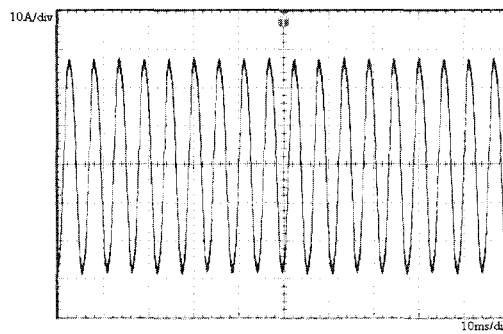
(a) 전원 전압 및 전류 파형 ( PF : 0.814 )  
(a) Source current and voltage waveforms ( PF : 0.814 )



(b) 전원 전류 스펙트럼( THD : 48.21% )  
(b) Source current spectrum ( THD : 48.21% )



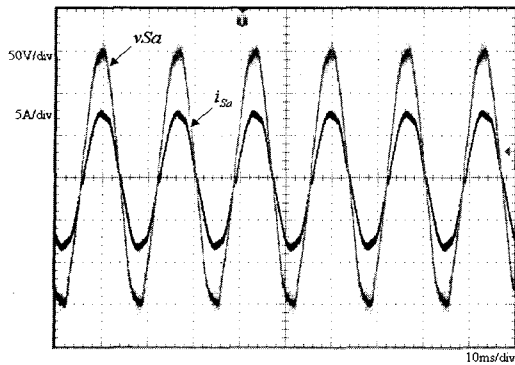
(c) 전원 전압 스펙트럼( THD : 13.57% )  
(c) Source current spectrum ( THD : 13.57% )



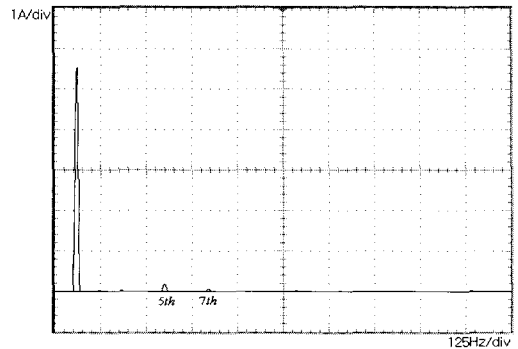
(d) 중성선 전류 파형 ( 19.9 [A] )  
(d) Neutral current waveform ( 19.9 [A] )

그림 5 3상 4선식 R-C 부하에서 보상 전 파형  
Fig. 5 Waveforms of 3-phase 4-wire system with R-C loads before compensation

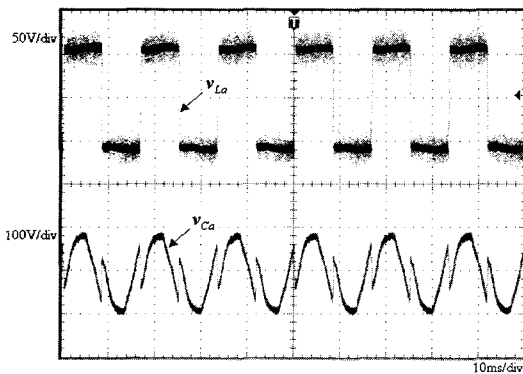
그림 5의 파형 들은 보상 전 실험 파형을 나타낸다. 그림 5(a)에서는 전원 전류 및 부하 전압 파형 모두 왜형이 많이 발생하고 있음을 알 수 있다. 원인은 3상 정류기 부하의 커패시턴스에 의한 영향으로 전원 전류가 흐르지 않는 정지 상태가 발생하여 입력 전류



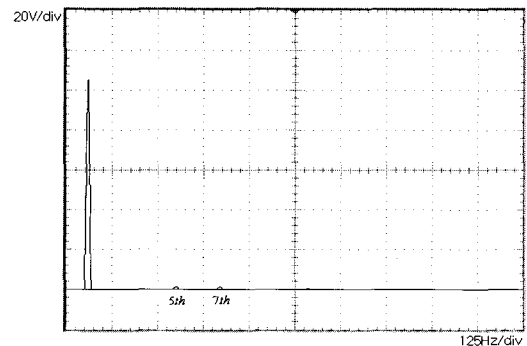
(a) 전원 전압 및 전류 파형 ( PF : 0.992 )  
 (a) Source current and voltage waveforms( PF : 0.992 )



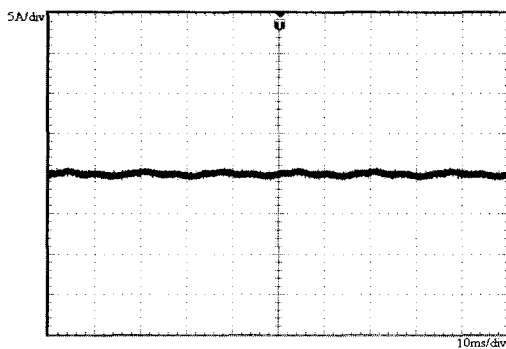
(d) 전원 전류 스펙트럼( THD : 3.53% )  
 (d) Source current spectrum( THD : 3.53% )



(b) 부하 전압 및 보상전압 파형  
 (b) Load voltage and compensation voltage waveforms



(e) 전원 전압 스펙트럼( THD : 1.66% )  
 (e) Source voltage spectrum ( THD : 1.66% )



(c) 중성선 전류 파형 (0.5A)  
 (c) Neutral current waveform(0.5A)

그림 6 3상 4선식 R-C 부하에서 보상 후 파형  
 Fig. 6 Waveforms of 3-phase 4-wire system with R-C loads after compensation

과 5 ~ 13차 고조파 성분이 함유되어 있는 것을 알 수 있다.

그림 5(d)의 파형은 중성선 전류 파형으로 기본과 상 전류의 약 1.5 배에 해당하는 많은 전류가 흐르고 있음을 알 수 있다.

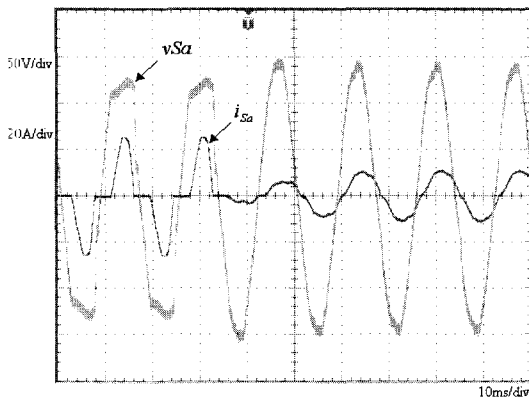
그림 6은 능동필터로 보상 후의 실험 파형들이다. 그림 6(a)에서 전원 전류 및 부하 전압은 정현파에 유사한 형태를 보이고 있으며 상전류의 THD는 보상 전 약 48%에서 보상 후 3.5%로 개선되었고, 역률 역시 보상 전 0.81에서 보상 후 약 0.99로 증가하였다. 그림 6(b)로부터 고조파 전압 원으로 작용하는 부하의 파형과 이를 보상하는 능동 필터의 출력 파형을 나타내었다. 그림 6(c) 및 그림 5(d)에서 알 수 있듯이 3상 4선식 전원 시스템의 중성선 전류는 보상 전 약 20[A]에서 보상 후 약 0.5[A]로 감소(1/40)하여 탁월한 중성선 전류 억제효과를 알 수 있다.

에 고조파 전류 성분이 발생하고, 이 고조파 전류가 전원 측 임피던스와 작용하여 전원 측 전압의 파형을 왜곡시키게 된다. 이때의 역률은 약 0.81이다.

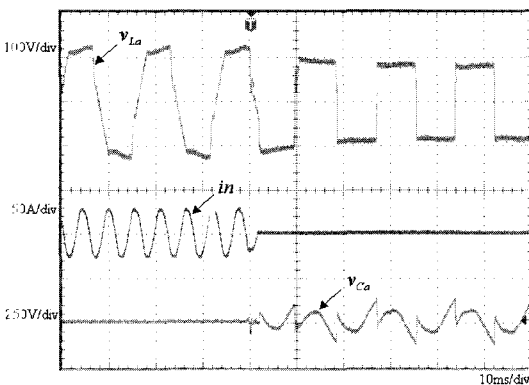
그림 5(b) 및 5(c) 파형은 전원 전류 및 전압 고조파 성분의 주파수 분석(FFT; Fast Fourier Transformation) 파형으로 중성선 전류에 많은 영향을 주는 3조파 성분

또한 그림 6(e)의 결과로 전원전압의 THD는 13.6%에서 1.7%로 감소하였음을 알 수 있다.

그림 7은 과도 시 실험 파형을 나타낸다. 능동필터 시동 시 전압의 파형은 순간적으로 보상이 되지만 전류의 파형은 그림 7(a)에서 나타난 바와 같이 3~4 사이클 정도의 지연이 발견되었다. 그림 7(b)에서는 능동 필터가 보상하는 고조파 성분 및 무효전력 과 고조파를 보상함에 따라 급격히 감소하는 중성선 전류의 파형을 알 수 있다. 그림 6(b)과 그림 7(b)의 보상파형을 비교하면 그림 7(b)의 보상파형은 무효전력 보상보다 고조파 성분을 주로 보상하는 형태로 고조파의 보상은 순간적으로 보상이 되지만 무효전력의 보상은 인버터 DC 커패시터의 에너지 충·방전 상태에 따라 서서히 보상이 된다.



(a) 전원 전압 및 전류 파형  
(a) Source current and voltage waveforms



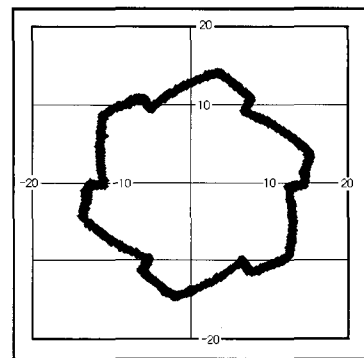
(b) 부하 전압, 중성선 전류 및 보상전압 파형  
(b) Load voltage, neutral current and compensation voltage waveforms

그림 7 3상 4선 식 R-C 부하에서 과도 파형  
Fig. 7 Waveforms of 3-phase 4-wire system with R-C loads during compensation

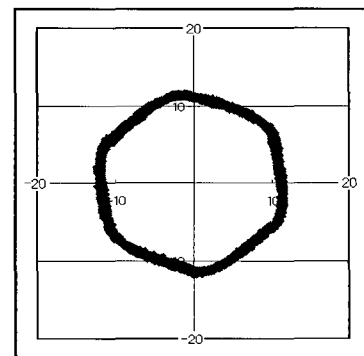
즉 능동전력필터 투입 시 커패시터 전압에 의해 순간적으로 약 0.9 수준까지 보상이 되고 시간이 경과(PI 제어응답성에 따라 다소차이가 있음)함에 따라 서서히 1에 가깝게 제어되기 때문이다.

그림 8의 파형은 3상전류를 2상 벡터변환 했을 경우의 파형이다. 3상 정현파인 경우에는 원형으로 나타나지만 고조파의 영향으로 파형이 많이 왜곡되어 있다. 보상후의 벡터변환 파형을 보면 고조파가 조금 포함되어있기는 하지만 보상 전보다는 많이 개선되었음을 명확하게 알 수 있다.

그림 9에는 기본파 성분을 100으로 하였을 때 보상 전 후의 고조파 성분을 백분율로 표시하였으며, 각 고조파 성분에 대하여 탁월한 보상효과를 확인 할 수 있다.



(a) 보상 전 파형  
(a) Before compensation



(b) 보상 후 파형  
(b) After compensation

그림 8 R-C 부하 고조파 전압원의 보상 전과 보상 후 3상전류의 2상 벡터 변환 파형

Fig. 8 Vector transformation waveforms of 3-phase currents into 2-phase coordinate before and after compensation for the R-C loads

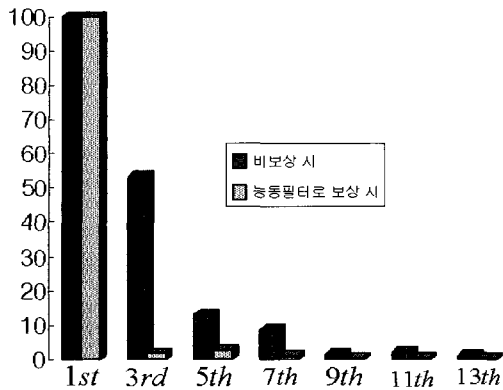


그림 9 고조파 보상 전 · 후 입력 전류 스펙트라  
Fig. 9 Input currents spectra before and after harmonic compensation

### 5. 결론

본 논문에서는 고조파 전압 원 부하를 갖는 3상 4선식 시스템에 적용되는 직렬 형 능동필터의 제어알고리즘을 제시하였다. 보상기준전압과 부하 전압을 이용해서 성능함수를 정의하였고, 이 성능함수를 최소화하는 보상기준전압을 도출함으로써 전원단의 고조파를 최소화할 수 있음을 보였다.

이러한 제어 알고리즘은 기존의 P-Q 이론에서 사용된 보상전류를 구하고 보상전압을 구하기 위해 계인을 곱하던 방법과 달리, 보상전압을 직접 구할 수 있으므로 실험 방법이 간단함을 알 수 있었다.

실험 결과 IEEE std. 519에서 규정하는 상전류의 THD가 5%미만인 조건을 만족하고 무효전력보상을 실현하여 전원 단 역률을 크게 개선할 수 있었다. 특히, 중성선 전류를 억제 하므로써 중성전류가 시스템에 미치는 영향을 감소시킬 수 있다.

이러한 실험결과를 통해서 제안된 알고리즘의 유효성 및 우수성을 입증하였다.

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라구축지원 사업으로 수행된 논문입니다.

### 참 고 문 헌

[1] 김영조, 최진석, 김영석 "회전좌표계를 이용한 단상능동 전력필터의 제어방식에 관한 연구", 전력전자학회 논문지, 제8권, 제6호, pp. 576~584, 2003. 12.

[2] T. Furuhashi, S. Okuma and Y. Uchikawa, "A Study on the Theory of Instantaneous Reactive Power" *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol. 37, No. 1, pp. 86~90, Feb. 1990.

[3] F. Z. Peng, H. Akagi, and A. Nabae, "A New Approach to Harmonic Compensation in Power Systems-A Combined System of Shunt Passive and Series Active Filters" *IEEE Trans. on Industry Applications*, Vol. 26, No. 6, pp. 983~990, 1990.

[4] Qun Wang, Weizheng Yao, Jinjun Liu and Zhaoan Wang, "Voltage Type Harmonic Source and Series Active Power Filter Adopting New Control Approach" *IEEE The 25th Annual Conf.* Vol. 2, pp 843~848, 1999.

[5] F. Z. Peng, "Application Issue of Active Power Filters" *IEEE Industry Application Magazine*, Sep./Oct. pp. 21~30, 1998.

[6] F. Z. Peng, Jih-Sheng Lai "Generalized Instantaneous Reactive Power Theory for Three Phase Power Systems", *IEEE Trans. on Instrument and Measurement*, Vol. 45, No. 1, pp. 293~297, 1996.

[7] Zhaoan Wang, Qun Wang, "A Series Active Power Filter Adopting Hybrid Control Approach", *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol. 16, No. 3, pp. 301~310, 2001.

[8] S. Bhattacharya, D. M. Divan and B. Banerjee, "Synchronous Frame Harmonic Isolator Using Active Series Ffilter", *EPE FRENZE Conference Rec*, Vol. 3, pp. 30~35, 1991.

[9] M. Aredes, J. Hafner and K. Heumann, "Three-Phase Four-Wire Shunt Active Filter Control Strategies" *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol. 12, No. 2, pp. 311~318, Mar. 1997.

[10] H. Akagi, Y. Kanaza and A. Nabae, "Instantaneous Reactive Power Compensators Comprising Switching Devices without Energy Storage Components." *IEEE Trans. on Industry Applications*, Vol. IA-20, No. 3, pp. 625~630, May/June. 1984.

[11] S. Bhattacharya, T. M. Frank and D. M. Divan, "Parallel Active Filter System Implementation and Design Issues for Utility Interface of Adjustable Speed Drive Systems", *IEEE IAS '96*, pp. 1032~1039, 1996.

[12] F. Z. Peng, G. W. Ott and D. J. Adams, "Harmonic and Reactive Power Compensation Based on the Generalized Instantaneous Reactive Power Theory for 3-Phase 4-Wire Systems", *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol. 13 Issue 6, pp. 1174~1181, Nov. 1998.



- [13] P. N Enjeti, W. Shireen, and I. J. Pitel, "Analysis and Design of A New Active Power Filter to Cancel Neutral Current Harmonics in Three Phase Four Wire Electric Distribution Systems" IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 30 Issue 6, pp. 1565~1572, Nov. 1994.
- [14] 우원명, 한윤석, 김영석, 원충연, 최세완 "직접보상 추출기법을 이용한 새로운 직렬형 능동전력필터", *전력전자학회 논문지*, 제6권, 제3호, pp. 258~263, 2001. 6.
- [15] 장민수, 최세완, 김기용 "3상 4선식 배전계통에서 중성선 전류 제거를 위한 새로운 저가형 능동전력필터", *전력전자학회 논문지*, 제7권, 제4호, pp. 359~365, 2002. 8.

## 저 자 소 개



### 김진선(金振鮮)

1959년 9월 22일생. 1986년 인하대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년~1997년 LG 석유화학/엔지니어링 재직. 1999~2001 안양 과학대 초빙교수. 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.



### 김영석(金榮石)

1951년 6월 11일생. 1997년 인하대 전기공학과 졸업. 1987년 일본 나고야대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1987~1989년 전기연구원 전력전자연구실장. 현재 인하대 전자·전기공학부 교수