

## 직접 보상전압 추출기법을 이용한 새로운 직렬형 능동전력필터

禹元命, 韓潤錫, 金榮石, 元忠淵, 崔世玩

### A Novel Series Active Power Filter Using Direct Compensating Voltage Extraction Method

Won-myung Woo, Yoon-seok Han, Young-seok Kim, Chung-yuen Won, Se-wan Choi

#### 요약

본 논문에서는 직접 보상전압 추출기법을 이용한 새로운 직렬형 능동전력필터의 제어법을 제안한다. 제안된 직렬형 능동전력필터는 비선형 부하를 갖는 3상 3선식 전력계통에 병렬 수동필터와 함께 사용되어 병렬 수동필터의 단점을 보완하고, 전원측 고조파 저감 효과를 극대화시키는데 기여한다. 제안된 제어법은 직렬형 능동전력필터의 보상전압을 성능함수에 의해 상변환 없이 직접 추출할 수 있다. 따라서 기존의 방법에 비해 연산시간이 짧고, 제어가 보다 간단하다. 실험결과는 제안된 제어법을 이용한 시스템이 고조파 저감에 우수한 성능을 나타냄을 입증한다.

#### ABSTRACT

In this paper, a new control strategy of a series active power filter using direct compensating voltage extraction method is proposed. The proposed series active power filter and shunt passive filters are used 3-phase 3-wire power system with nonlinear load. The series active power filter complements drawbacks of the shunt passive filter and contributes to a source side harmonic reduction. We can extract the compensating voltage of the series active power filter using performance function without phase transformations. Therefore, the calculating time is short and the control method is simple compared with conventional methods. Experimental results verify that the system using the proposed method appears a good performance.

**Key Words** : Series active power filter, Shunt passive filter, Performance function

#### 1. 서론

전력계통에서 부하로 전력을 전달하는 과정에서, 반도체 전력변환장치를 사용하는 부하는 비선형 부하로 동작하여 전원측에 심각한 고조파를 발생하는 요인으로 작용한다. 이러한 고조파는 전원전압의 왜곡 및 발전기, 송전선, 변압기 등과 같은 전력계통 장치들의 용량증대를 가져오며, 전기기기, 케이블, 진상 콘덴서 등의 전력계통 소자들에 열 및 소음을 발생시키고 더 나아가 절연파괴 또는 수명단축을 초래한다. 또한 컴퓨터, 계측장비와 같은 각종 전자장비의 오동작이나 통

신 시스템에 EMI현상을 야기하며, 전동기에 이상 진동 토크를 발생시키고 철손, 동손 등의 손실을 증대시킨다. 따라서, 고조파 발생에 대한 효과적인 대책에 관한 연구는 매우 중요한 과제라고 할 수 있으며, 오랜 기간 동안 연구가 행해져 왔다.<sup>[1-10]</sup>

종래에는 이러한 문제들을 해결하기 위해 저가의 수동필터를 사용하여 왔지만, 주로 인덕터와 커패시터로 구성되는 수동필터는 특정한 차수의 고조파 성분만을 제거할 수 있어, 교류 전원측에 광범위한 차수의 고조파가 발생할 경우 그다지 만족할 만한 성능을 얻기 힘들다.

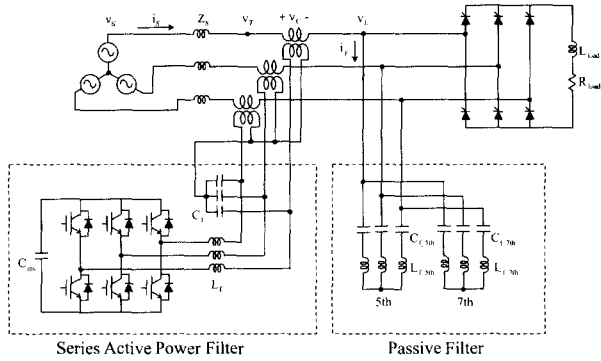


그림 1 직렬형 능동전력필터와 병렬 수동필터의 병용시스템  
Fig. 1 Combined system of a series active power filter and parallel passive filters

또한, 계통 내에서 공진을 유발할 가능성이 있으며, 외형이 크다는 단점을 안고 있다. 따라서, 수동필터의 단점을 보완하기 위해 병렬형 능동전력필터에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다.<sup>[2, 5]</sup>

병렬형 능동전력필터는 비선형 부하에 병렬로 연결되어 부하에 고조파 전류를 공급하는 전류원으로 동작하여, 전원측의 고조파 성분을 제거한다. 또한, 적절한 제어를 통해 역률 보상 등의 부가적인 기능을 수행할 수도 있다. 그러나 병렬형 능동전력필터는 대용량의 실현이 어렵고, 고가의 설비비가 요구된다는 단점이 있다. 이러한 문제점들에 의해 능동전력필터의 비용을 절감하기 위한 다른 해법들이 제안되었다. 그 중 하나가 직렬형 능동전력필터와 병렬 수동필터를 결합하여, 고조파의 대부분을 병렬 수동필터가 부담하고 일부만을 직렬형 능동전력필터가 보상하도록 설계된 복합형 능동전력필터이다.<sup>[7-10]</sup>

본 논문에서는 직렬형 능동전력필터의 새로운 제어법을 제안하고, 병렬 수동필터와 작은 용량의 직렬형 능동전력필터의 병용시스템에 적용하여 제안된 방법의 타당성을 검토한다.

## 2. 직렬형 능동전력필터와 병렬수동필터의 병용시스템

그림 1은 직렬형 능동전력필터와 병렬 수동필터의 병용시스템을 나타내며, 그림 2는 그림 1을 단상 등가회로로 나타낸 것이다.

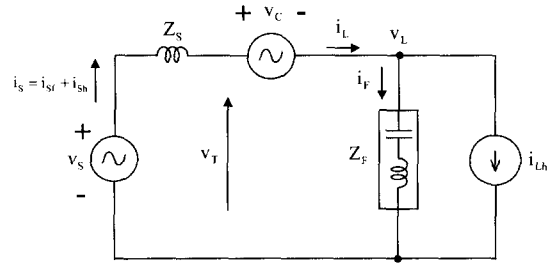


그림 2 그림 1의 단상 등가회로  
Fig. 2 Single phase equivalent circuit of Fig. 1

그림 2의 등가회로에서 비선형 부하인 직류 출력측 리액터를 갖는 다이리스터 정류회로는 고조파 전류원  $i_{Lh}$ 로 나타낼 수 있으며, 수동필터는 등가 임피던스  $Z_F$ 로, 전원 임피던스는  $Z_S$ 로 각각 나타낼 수 있다. 직렬형 능동전력필터는 이상적으로 제어 가능한 전압원  $v_C$ 로 나타낼 수 있다. 이 시스템에서 수동필터는 비선형 부하와 병렬로 연결되어 부하에서 발생한 특정 차수의 고조파를 흡수하는 기능을 하며, 직렬형 능동전력필터는 전원과 부하 사이에 직렬로 연결된 전압원으로써 부하에서 발생된 고조파를 차단하는 역할을 한다. 병용시스템의 특징은 다음과 같다.

- i) 직렬형 능동전력필터가 전원과 직렬로 접속되기 때문에, 전원 임피던스와 병렬 수동필터는 완전 분리되어, 직렬공진 및 병렬공진 현상을 막을 수 있다.
- ii) 병렬 수동필터의 고조파 보상효과가 전원 임피던스에 영향을 받지 않는다.
- iii) 직렬형 능동전력필터의 용량은 기존의 능동전력필터의 용량보다 매우 작다.

이 시스템의 가장 큰 특징은 저가의 수동필터와 작은 용량의 능동전력필터를 적절히 이용하여 최대의 효과를 실현할 수 있기 때문에, 우수한 성능이 확보되고 초기 설비비나 유지비를 절감할 수 있어 상용화에 기여할 수 있다는 것이다. 실제 직렬형 능동전력필터의 최대 전압용량은 전원 자체에 고조파 성분이 포함되어 있을 경우라 할지라도, 전원의 고조파 전압과 병렬 수동필터단의 고조파 전압의 합이므로 그 양이 매우 작다.

### 3. 직접 보상전압 추출기법을 이용한 직렬형 능동전력필터의 보상원리

기존의 직렬형 능동전력필터의 제어법<sup>[7][8]</sup>에서 다루었던, 순시 무효전력은 부하에 의해 생성된 양을 의미한다.

그러나 제안하는 직접 보상전압 추출기법에서는 직렬형 능동전력필터로부터 발생된 각 상의 전력을 순시 무효전력으로 나타낸다. 즉, 순시 무효전력  $q_k$ 는 직렬형 능동전력필터의 각 상에서 발생하는 전력으로 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 3상의 각 상을 나타내는 a, b, c이며,  $v_{Ck}$ 는 직렬형 능동전력필터가 생성하는 각 상의 보상전압,  $i_{Sk}$ 는 각 상의 전류이다.

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

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

그림 1과 같은 3상 3선식 전력계통의 경우 중성선이 없으므로, 전압과 전류의 영상분이 존재하지 않는다. 따라서, 직렬형 능동전력필터에서 발생하는 보상전압은 식 (3)을 만족한다.

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

직렬형 능동전력필터의 보상전압은 식 (2)와 식 (3)을 만족하면서, 다음에 정의하는 성능함수 (Performance function)를 최소화시키는 값으로 구한다.

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

식 (4)의 성능함수에서 우변의 각 항들은 각 상 부하 입력전압과 보상전압의 차의 제곱의 형태를 갖기 때문에 성능함수가 최소가 되는 전압측 전압의 고조파 성분이 최소가 되는 것을 의미한다.

성능함수를 최소로 만드는 직렬형 능동전력필터의 보상전압  $v_{Ca}, v_{Cb}, v_{Cc}$ 는 식 (2)와 식 (3)을 이용하면서 식 (5)의 미분식을 통해 유도된다.

$$\frac{dL}{dv_{Ca}} = 0, \frac{dL}{dv_{Cb}} = 0, \frac{dL}{dv_{Cc}} = 0 \quad (5)$$

식 (5)를 통해 유도된  $v_{Ca}, v_{Cb}, v_{Cc}$ 는 제안된 직렬형 능동전력필터의 보상 지령전압으로 다음 식 (6)과 같이 구해진다.

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

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

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

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)내의  $q$ 는 기존의 순시 무효전력의 정의식<sup>[4-6]</sup>과 일치한다. 따라서, 제안하는 보상방법에 의해 추출된 보상 지령전압 내에는 순시 무효전력의 직류성분 ( $\bar{q}$ )과 교류성분 ( $\tilde{q}$ )을 모두 포함하고 있다.

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

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

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

따라서, 식 (7)과 같이 순시무효전력을 직류성분과 교류성분으로 분리해 낼 수 있으며, 고조파만 보상할 경우 기존의 제어방법과 마찬가지로 순시 무효전력의 교류성분만을 보상분으로 사용하면 된다. 고조파만 보상할 경우의 보상 지령전압을 식 (8)에 나타내었다.

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

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

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

(8)

제안하는 제어법의 특징은 기존의 방법과 달리 직렬형 능동전력필터를 기준으로 순시 전력을 계산하였으며, 성능함수를 통해 보상 지령전압을 직접 추출해내므로, 기존의 보상방법<sup>[7-9]</sup>과 같은 개인 튜닝(tuning)이 필요 없다. 또한, 연산시 상변환을 전혀 사용하지 않고, 결과식인 식 (8)만을 계산하면 되므로 제어가 간단하다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

제안한 제어법의 적용을 위해, 그림 3과 같은 직렬형 능동전력필터와 수동필터의 병용시스템이 제작되었다. 직렬형 능동전력필터는 3상 인버터로써, IGBT를 사용하여 구성되었다. 보상 지령전압의 정확한 연산을 위해 32bit DSP인 TMS320C31을 사용하였으며, 샘플링 시간은 143μsec이다. 게이트 인가신호는 Co-processor(ADMC201)를 사용하여 구현하였다. 또한 인버터의 출력단에는 스위칭 리플을 저감시키기 위해 LC필터를 연결하였으며, 직렬형 능동전력필터와 전력 시스템의 연결을 위해 권수비가 1:1인 변압기가 사용되었다. 비선형 부하로는 3상 다이리스터 컨버터를 사용하였으며, 위상각은 0°로 제어된다.

시스템의 회로정수를 표 1에 나타내었으며, 표 2는 수동필터의 회로정수를 나타낸다.

그림 4는 직렬형 능동전력필터의 제어 블록선도이다. 직렬형 능동전력필터의 직류측 전압을 일정하게 유지하기 위한 유효성분의 제어부를 함께 나타내었다. ZCD(Zero crossing detector)와 SWG(Sine wave generator)를 통해 부하 상전압과 동기된 단위크기의 정현파를 만들고, 여기에 직렬형 능동전력필터의 직류측 기준전압과 실제 직류측 전압의 차이를 비례적분(PI)제어한 결과를 곱하여 최종 직렬형 능동전력필터의 보상전압에 더하여준다.

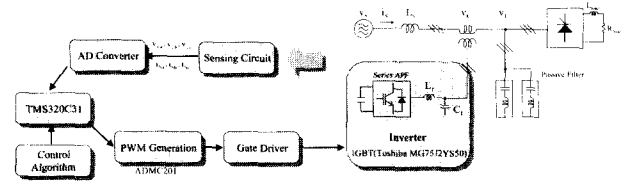


그림 3 시스템 구성  
Fig. 3 The system configuration

표 1 시스템 회로정수  
Table 1 System parameters

전원 상전압	100 [Vrms], 60 [Hz]
전원측 인덕턴스( $L_s$ )	0.1 [mH]
결합변압기 권수비	1 : 1
부하 인덕턴스( $L_{load}$ )	15 [mH]
부하 저항( $R_{load}$ )	30 [ $\Omega$ ]
인버터 DC링크 콘덴서	2350 [ $\mu$ F]
LC필터 인덕턴스( $L_f$ )	2 [mH]
LC필터 콘덴서( $C_f$ )	1 [ $\mu$ F]

표 2 수동필터 회로정수  
Table 2 Passive filter parameters

5차 수동필터	인덕터	2 [mH]
	커패시터	140 [ $\mu$ F]
7차 수동필터	인덕터	2 [mH]
	커패시터	70 [ $\mu$ F]

그림 5는 보상전 측, 직렬형 능동전력필터와 병렬수동필터를 계통에 접속하지 않았을 경우 전원측 전압( $v_{Ta}$ )과 전원전류( $i_{Sa}$ )의 파형이다.

전원 인덕턴스 후단의 전원측 전압은 부하에 인가되는 전압이며, 전원전류와 함께 비선형 부하의 영향으로 왜곡된 형태를 갖는다.

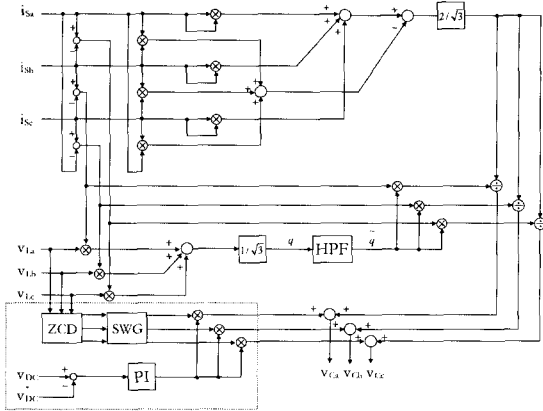
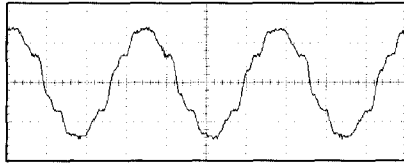
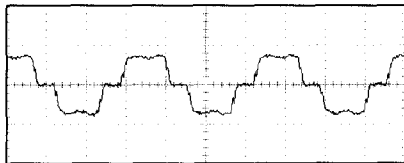


그림 4 제어 블럭선도  
Fig 4 Control block diagram



(a) a상 전원측 전압(  $v_{Ta}$  )  
(a) Source side voltage of a-phase  
100[V/div], 5[ms/div]

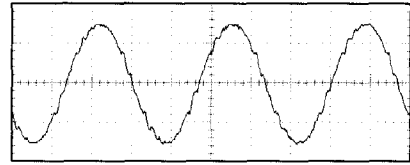


(b) a상 전원전류(  $i_{Sa}$  )  
(b) Source current of a-phase  
10[A/div], 5[ms/div]

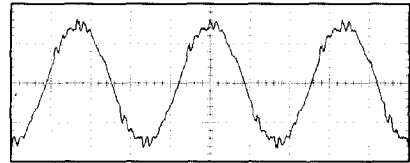
그림 5 보상전 전원측 전압(  $v_{Ta}$  )과 전원전류(  $i_{Sa}$  )  
Fig. 5 Experimental waveforms before compensation

그림 6은 비선형 부하에 수동필터만 사용한 경우 각부의 파형을 나타낸다. 5차와 7차로 동조된 수동필터에 의해 개선된 파형을 볼 수 있다. 그러나 그림 6의 (c)에서 수동필터로 흐르는 전류는 동조된 5차, 7차 고조파 전류 이외에 잔류 고조파 전류성분들이 포함되어 있다.

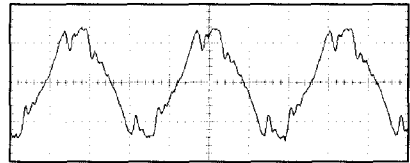
그림 7과 그림 8은 병렬 수동필터와 직렬형 능동전력필터의 병용시스템에 의한 보상결과이다.



(a) a상 전원측 전압(  $v_{Ta}$  )  
(a) Source side voltage of a-phase  
100[V/div], 5[ms/div]



(b) a상 전원전류(  $i_{Sa}$  )  
(b) Source current of a-phase  
10[A/div], 5[ms/div]



(c) a상 수동필터 전류(  $i_{Fa}$  )  
(c) Passive filter current of a-phase  
10[A/div], 5[ms/div]

그림 6 수동필터를 사용한 경우 각부의 파형  
Fig. 6 Experimental waveforms by using passive filters

그림 7은 제안된 직접 보상전압 추출기법을 적용한 직렬형 능동전력필터의 보상전압을 나타낸다. 고조파만을 보상하기 위해 식 (8)을 이용하여 보상전압을 추출하였다. 수동필터의 동작으로 인해 보상전압이 매우 작아 직렬형 능동전력필터의 용량을 줄일 수 있음을 확인할 수 있다. 그림 8에서 병용시스템에 의한 보상 후 전원측 전압과 전원전류는 정현파 형태를 유지하며 완전하게 고조파를 억제하고 있음을 보여준다. 또한, 그림 6(c)와 달리 그림 8(c)는 직렬형 능동전력필터의 동작으로 인해 5차, 7차 고조파를 제외한 고차 고조파가 수동필터로 유입되지 않음을 보이고 있다. 즉, 수동필터가 동조된 주파수인 300[Hz]와 420[Hz]에 해당하는 전류성분만을 필터링하며 직렬형 능동전력필터가 잔여 고조파성분을 제거하고 있음을 나타내는 것이다. 이는, 직렬형 능동전력필터가 전원측 임피던스 성분과

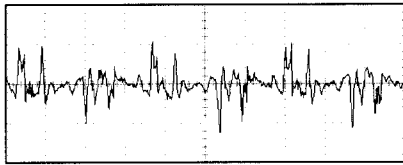
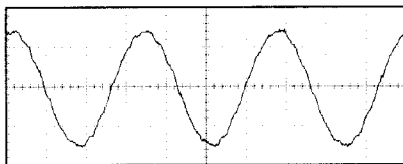
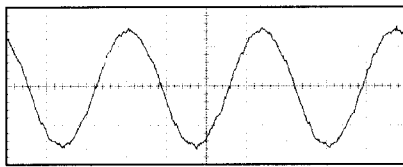


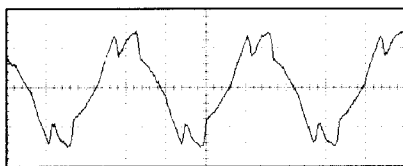
그림 7 직렬형 능동전력필터의 a상 보상전압  
10[V/div], 5[ms/div]  
Fig. 7 a-phase compensating voltage of the series active filter



(a) a상 전원측 전압 ( $v_{Ta}$ )  
(a) Source side voltage of a-phase  
100[V/div], 5[ms/div]



(b) a상 전원전류 ( $i_{Sa}$ )  
(b) Source current of a-phase  
10[A/div], 5[ms/div]



(c) a상 수동필터 전류 ( $i_{Fa}$ )  
(c) Passive filter current of a-phase  
10[A/div], 5[ms/div]

그림 8 병용시스템을 사용한 경우 각부의 파형  
Fig. 8 Experimental waveforms by using the combined system

수동필터를 완전 분리시켜 수동필터만 사용할 경우 나타날 수 있는 전원측 임피던스와 수동필터의 공진문제 등을 해결하는데 기여할 수 있음을 보여준다.

그림 9는 a상 전원전류와 전원측 전압의 고조파 분석 결과이다. 전원전류의 경우 수동필터만 사용할 경우 동조된 주파수에서는 고조파가 감소되었으나, 전원

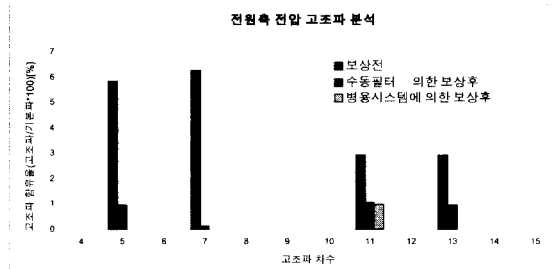
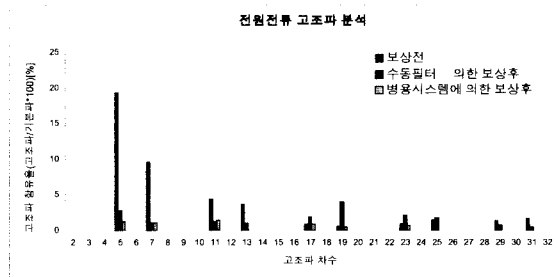


그림 9 고조파 분석  
Fig. 9 Harmonic analysis

임피던스의 영향에 의해 동조된 차수 이외의 주파수에서는 부분적으로 고조파 함유율이 증가한다. 병용시스템을 이용한 보상에 의해 전원전류는 낮은 고조파 함유율을 보인다. 전원전류의 THD(Total harmonic distortion) 또한 보상전 22.5[%]에서 수동필터만 사용할 경우 4.2[%], 병용시스템을 사용할 경우 0.64[%]로 감소한다. 전원측 전압의 경우 THD가 보상전 9.5[%]에서 수동필터만 사용할 경우 3.04[%], 병용시스템을 사용할 경우 0.98[%]로 감소한다. 따라서 제안된 제어법을 이용한 시스템이 우수한 보상특성을 가짐을 확인할 수 있었다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 전원단의 고조파를 억제하기 위한 보다 효과적이고, 경제적인 해법을 제시하였다. 제안된 직렬형 능동전력필터의 제어방법은 보상전압과 부하측 전압을 이용하여 성능함수를 정의하고, 이 성능함수를 최소화함으로써 전원측에 발생하는 고조파를 최소화할 수 있다. 또한 성능함수를 이용하여 보상지령전압을 직접 도출하기 때문에 상변환을 이용하는 기존의 방법에 비해 연산이 간단하다. 능동전력필터의 보다 현실적인 방법으로써 작은 용량의 능동전력필터로도 우수한 보상능력을 갖는 병렬 수동필터와 직렬형 능동전력필터의 병용시스템에 관해 고찰하였다. 제안된 제

어법의 적용을 위해 직렬형 능동전력필터와 병렬 수동 필터의 병용시스템이 제작되었고, 실험을 통해 THD 1% 미만의 우수한 고조파 저감 특성을 나타냄을 확인하였다.

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

### 참 고 문 헌

- [1] L. Gyugyi and E.C. Strycula, "Active AC Power Filters", Proc. IEEE-IAS Annual Meeting Conference Record, pp. 529~535, 1976.
- [2] Y. Komatsu, T. Kawabata "A Control Method of Active Power Filter in Unsymmetrical and distorted Voltage System", PCC-Nagaoka '97, pp. 161~168, 1997.
- [3] V. Soares, P. Verdelho and G. Marques "Active Power Filter Control Based on the Instantaneous Active and Reactive Current  $i_a-i_q$  Method", PESC '97, pp. 1096~1101, 1997.
- [4] T. Furuhashi, S. Okuma, Y. Uchiakwa, "A Study on the theory of Instantaneous Reactive Power", IEEE Trans. Ind. Electron. Vol. 37, No. 1, pp. 86~90, 1990.
- [5] H. Akagi, Y. Kanazawa and A. Nabae "Instantaneous Reactive Power Compensators Comprising Switching Devices Without Energy Storage Components." IEEE Trans. Ind. Applicat., Vol. 20, No.3, pp. 625~630, 1984.
- [6] I. Takahashi, "A Flywheel Energy Storage System having distorted Power Compensation", in Conf. Rec. IPEC(Tokyo), pp. 1072~1083, 1983.
- [7] F. Z. Peng, H. Akagi and A. Nabea, "A New Approach to Harmonic Compensation in Power Systems - A Combined System of Shunt Passive and Series Active Filter", IEEE Trans. Ind. Applicat., Vol. 26, No. 6, pp. 983~990, 1990.
- [8] F. Z. Peng, H. Akagi and A. Nabea, "Compensation Characteristics of the combined System of Shunt Passive and Series Active Filters", IEEE Trans. Ind. Applicat., Vol. 29, No. 1, pp. 144~152, 1993.
- [9] S. Bhattachaya et al., "Synchronous Frame Harmonic Isolator using Active Series Filter", EPE FIRENZE Conf. Record, Vol. 3, pp. 30~35, 1991.
- [10] Juan W. Dixon, Gustavo Venegas and Luis A. Moran, "A Series Active Power Filter Based on a Sinusoidal Current-Controlled Voltage-Source Inverter", IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 44, No. 5, pp. 612~619, 1997.

### 저 자 소 개



#### 우원명(禹元命)

1976년 1월 3일생. 1999년 2월 인하대 전기공학과 졸업. 2000년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 (주)제4기한국 기술연구소 전력전자팀 연구원.



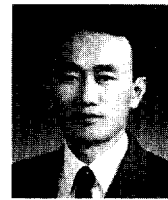
#### 한윤석(韓潤錫)

1972년 8월 5일생. 1995년 2월 인하대 전기공학과 졸업. 1997년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 (주)아크로스 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.