

# 3상 4선식 하이브리드 형 직렬 능동전력필터에 대한 새로운 성능함수 제어 이론

論 文  
52B-11-5

## A New Performance Function-Based Control Strategy for Hybrid Series Active Power Filter in Three-Phase Four-Wire Systems

申 載 華<sup>\*</sup> · 金 振 鮮<sup>\*\*</sup> · 金 榮 石<sup>\*\*\*</sup>  
(Jae-Hwa Shin · Jin-Sun Kim · Young-Seok Kim)

**Abstract** - In this paper, the control algorithm and control method for a combined system of shunt passive filter and series active filter in 3-phase 4-wire system are discussed. Moreover, the three-phase four-wire system is widely employed in distributing electric energy to several office building and manufacturing plants. In such systems, the third harmonic and its 3th harmonics are termed as triple and zero sequence components that do not cancel each other in the system neutral. Consequently, the triple harmonics add together creating a primary source of excessive neutral current. Regarding this concern, this paper presents a new control algorithm for a series hybrid active system, whereas the control approach it adopts may directly influence its compensation characteristics. Hence, the advantage of this control algorithm is direct extraction of compensation voltage reference and the required rating of the series active filter is much smaller than that of a conventional shunt active filter. Some experiments were executed and experimental results from a prototype active power filter confirm the suitability of the proposed approach.

**Key Words** : 고조파 전류, 무효전력, 하이브리드형 직렬능동필터, 성능함수, THD.

### 1. 서 론

최근, 정보화와 산업화가 점점 더 고도화되면서 SMPS, UPS, 컴퓨터시스템 등 사이리스터나 다이오드 정류기와 같은 반도체 전력변환장치를 사용하는 부하들이 급증하고 있다. 이러한 부하들은 비선형 부하로 동작하여 전원 측에 심각한 고조파를 발생시키는 중요한 원인이 된다.[1-4]

이러한 문제를 해결하기 위하여, 수동 필터가 전통적으로 사용되어왔고 수동필터의 특성은 기본파에 대한 무효전력 보상이 가능하고, 구조가 간단하며, 고조파 제거에 효과적이며, 비용이 저렴하다. 그러나, 이러한 수동 필터는 몇 가지 결점을 가지고 있는데, 전원 임피던스가 수동 필터의 보상 특성에 영향을 미치고, 전원과 부하에 공진하기 쉬우며, 특정차수의 고조파에 동조하는 특성에 따라 여러 차수의 고조파를 보상하기 위하여 다수의 수동 필터를 설치해야 하므로 비용 및 설치공간에 제약이 발생하며, 수동필터의 성능은 시스템 임피던스에 영향을 받고 이 시스템 임피던스는 전력 시스템 정수

에 따라 변화하므로 정확한 설계가 어려운 문제점등이 있다.

이러한 수동필터의 문제점을 개선하기 위하여 병렬 형 능동 필터와 수동 필터를 결합한 시스템을 연구하였으나, 빠른 전류 응답 및 저 손실로 동작하는 대용량 PWM 컨버터 제작이 어렵고, 초기 운전비용이 수동 필터보다 비싸고, 수동 필터에서 주입된 전류가 수동 필터 및 교류 시스템에 연결된 커패시터로 흐르는 문제가 발생하여, 직렬 형 능동 필터와 수동 필터를 결합한 하이브리드형 직렬 능동 필터들이 연구되었다. 이러한 시스템은 고조파 보상효과가 교류 전력 시스템의 전원 임피던스에 의한 영향을 받지 않고, 능동필터가 수동 필터와 능동필터의 사이에 직렬로 위치하여 공진을 방지하고, 직렬 형 능동 필터의 용량은 능동필터 단독운전보다 작게 된다.[5-8]

또한 고조파 전류원 보상에 적합한 병렬 형 능동전력필터는 오래 전부터 많은 연구가 수행되어 성공적으로 개발되었고, 실제 산업현장에 적용되고 있다.[9] 그러나, 기존의 대표적인 3상 3선식 알고리즘인 Akagi의 순시무효전력이론[10]이나, 동기좌표계 이론[11]은 병렬 형 능동필터를 기준으로 제안한 알고리즘으로 상업용이나 업무용 빌딩에 채택되는 3상 4선식 시스템에 대해서는 그 성능을 확실히 보장해줄 수가 없기 때문에 3상 4선식 시스템에 대한 새로운 알고리즘이 요구되고 있다.[12] 특히, 최근에는 PC, TV, 고효율 전동과 같은 가정용 전자 장비와 UPS, 대형컴퓨터 시스템, HVDC 송전 시스템 등의 산업용 시스템들이 산업화와 정보화를 거치면서 널리 보급되게 되었고 이러한 장치들은 전원 단에 다이

\* 正 會 員 : 仁 川 專 門 大 學 電 氣 科 教 授  
\*\* 正 會 員 : 仁 荷 大 學 電 氣 工 學 博 士 課 程  
\*\*\* 正 會 員 : 仁 荷 大 學 電 氣 · 電 子 工 學 部 教 授  
接受日字 : 2003년 7월 18일  
最終完了 : 2003년 10월 7일

오드 정류기나 사이리스터 정류기가 사용되며 부하 단에 커패시터 성분이 크게 되어 부하에 일정한 dc 전압이 인가되고 이러한 부하를 고조파 전압원으로 볼 수 있으며, 점점 빠르게 증가하고 있는 추세이다. 따라서 3상 4선식 직렬 형 능동 필터에 적용할 수 있는 알고리즘 개발이 더욱 필요한 실정이다.

또한, 고조파나 부하 불평형 외에 업무용이나 상업용 빌딩 등에 주로 채택되는 3상 4선식 시스템에서는 비선형 부하의 증가에 따라 중성선 전류가 크게 증가하게 된다. 이러한 중성선 전류의 성분은 3차와 3차의 기수차수 배의 고조파 성분으로 3상 4선식 시스템에서 중성선에 중요한 역할을 하게 되는데 중성선에서 서로 상쇄시키지 않고 산술적으로 더하여  $\sqrt{3}$  배의 선 전류가 흐르게 된다. 이러한 중성선 전류의 증가는 중성선 자체뿐만 아니라, 중성선에 연결된 변압기 등의 용량증대를 가져오게 되고 상 전압이 불안정해지는 주요한 요인이 되기 때문에 정밀한 전원이 요구되는 시스템의 오동작 원인이 되기도 한다[13]. 따라서, 3상 4선식 시스템에서는 고조파와 역을 개선뿐만 아니라, 중성선 전류를 제거하기 위한 알고리즘이 절실히 요구되고 있다.

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

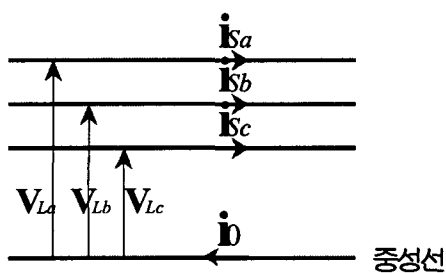
이 제어법은 상변환 없이 보상기준전압을 직접 추출해냄으로써 기존의 제어법보다 더 간단하고, DSP를 사용해서 보상기준전압을 연산해 내는 시간을 단축시킬 수 있기 때문에 무효전력의 실시간 제어에 더 근접할 수 있는 요건을 제공해 주어 능동필터의 성능개선에 기여하게 된다.

제안된 제어알고리즘의 유효성을 입증하기 위해서 고조파 전압원 부하와 고조파 전류원 부하를 구성하여 실험을 수행하였고, 실험결과를 제시하였다.

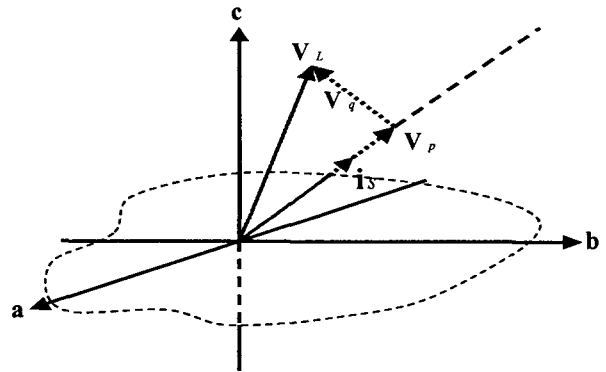
## 2. 본 론

### 2.1 3상 4선식 직렬 형 능동필터에서의 보상원리

본 절에서 제안하는 알고리즘에서는 순시무효전력을 부하에서 발생하는 무효전력 대신에 능동전력필터에서 발생한 각



(a) 3상 4선식 전력시스템에서의 전압, 전류



(b) 순시 유효전압벡터와 순시 무효성분 벡터

그림 1 3상 전압·전류벡터와 순시 유효·무효전압 벡터도  
Fig 1 3-phase voltages and currents vector, instantaneous reactive and active components vector

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.

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

직렬 형 능동전력필터는 순시 유효전력을 발생하지 않으므로 능동필터에서 발생하는 모든 전력은 부하로 전달되지 않고 상 사이에서 회전하는 무효전력성분이 된다. 따라서, 식 (1)을 다음 식(2)와 같이 능동전력필터에서 발생하는 전력의 합을 0으로 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 만족하면서, 다음에 정의하는 성능 함수를 최소화하는 전압으로 결정된다.

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

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 전원전류와 동상인 부하전압의 벡터 성분을 나타내고, 순시 무효전압벡터  $V_s$ 는 순

시 유효전압벡터  $V_p$  에 수직인 전압벡터 성분을 나타낸다. 여기에서, 순시 유효전압벡터를 다음 식 (4)에서와 같이 벡터의 곱에 의해서 구해낼 수 있다.

$$v_{p(a,b,c)} = \text{proj}_i v_L = \frac{v_L \cdot i_S}{\|i_S\|^2} i_S$$

$$= \frac{v_{La}i_{Sa} + v_{Lb}i_{Sb} + v_{Lc}i_{Sc}}{i_{Sa}^2 + i_{Sb}^2 + i_{Sc}^2} i_{S(a,b,c)}$$

$$= \frac{p}{i_{Sa}^2 + i_{Sb}^2 + i_{Sc}^2} i_{S(a,b,c)} \quad (4)$$

$$v_{pa} = i_{Sa} \cdot p / (i_{Sa}^2 + i_{Sb}^2 + i_{Sc}^2) \quad (5-1)$$

$$v_{pb} = i_{Sb} \cdot p / (i_{Sa}^2 + i_{Sb}^2 + i_{Sc}^2) \quad (5-2)$$

$$v_{pc} = i_{Sc} \cdot p / (i_{Sa}^2 + i_{Sb}^2 + i_{Sc}^2) \quad (5-3)$$

$$v_{Ca} = v_{La} - i_{Sa} \cdot p / (i_{Sa}^2 + i_{Sb}^2 + i_{Sc}^2) \quad (6-1)$$

$$v_{Cb} = v_{Lb} - i_{Sb} \cdot p / (i_{Sa}^2 + i_{Sb}^2 + i_{Sc}^2) \quad (6-2)$$

$$v_{Cc} = v_{Lc} - i_{Sc} \cdot p / (i_{Sa}^2 + i_{Sb}^2 + i_{Sc}^2) \quad (6-3)$$

식 (3)의 성능함수는 식 (5)의 전압에서 최소가 되는데 이 보상기준전압은 앞에서 언급했듯이 부하전압에서 순시유효전압을 빼줌으로써 얻을 수 있다. 식 (5) 및 (6)의 순시유효전력  $p$ 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 이득을 곱하여 직렬 형 능동전력필터의 최종적인 보상기준전압을 구해내었지만, 본 논문에서 제안된 성능함수를 이용한 제어법에서는 이러한 이득을 찾아내는 어려움 없이 부하전압과 전원 전류 값으로부터 연산에 의하여 보상전압을 얻을 수 있다 [9]. 또한 고조파 성분을 보상해줌으로써 인하여 추가적인 알고리즘 없이 3상 4선식 시스템에서 문제가 되는 영상 분 보상이 가능하다.

그림 2에 3상 4선식 직렬 형 능동전력필터의 제어알고리즘을 나타내었다. 3상 부하전압과 3상 전원전류를 검출회로를 통해서 받아와서 식 (6)에 의해 보상기준전압을 구하였고, 인

버터 dc-link 전압제어를 위한 PI 제어기를 추가하여 최종적인 보상기준전압을 구해내었다.  $V_{dc}$ 는 PT를 통해 받아온 실제 인버터의 dc-link 전압이고,  $V_{dc}^*$ 는 인버터 dc-link의 기준전압을 의미한다.

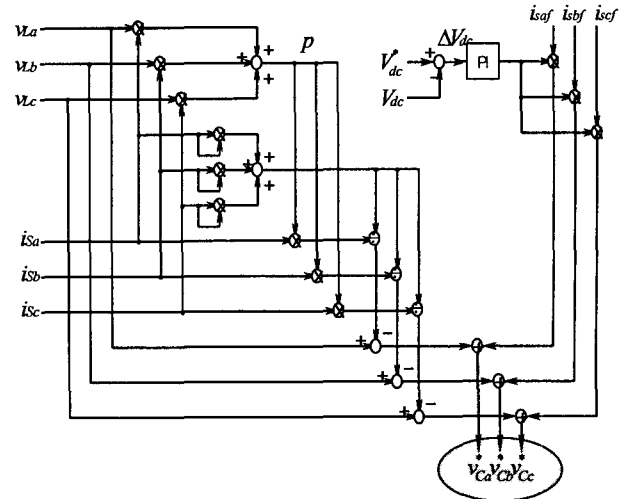


그림 2 3상 4선식 직렬 형 능동전력필터의 제어 알고리즘  
Fig. 2 The control algorithm of series active power filter in 3-phase 4-wire systems.

2. 2 시스템의 구성

직렬 형 능동전력필터는 3상 전압 형 PWM 인버터를 교류 전원과 비선형 부하 사이에 3개의 결합변압기로 계통에 직렬 접속하여 구성하였다. 또한, 인버터의 출력 측에는 스위칭 리플을 저감시키기 위한 LC필터를 구성하였다.

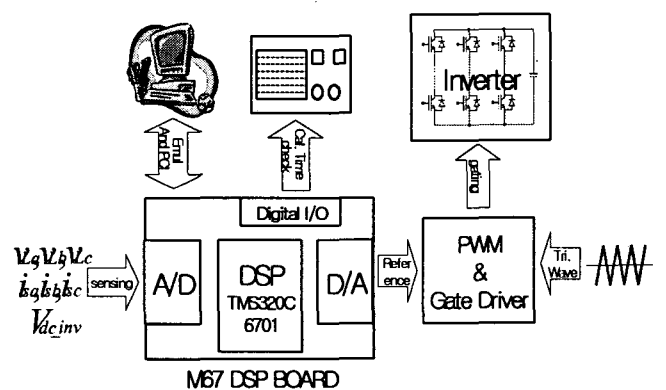


그림 3 직렬 형 능동필터 제어회로의 구성도  
Fig. 3 Construction diagram of series active power filter's control circuit

그림 3에 직렬 형 능동필터의 제어회로에 대한 블록다이어그램을 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 실

제 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.

그림 2-4.에 제어 알고리즘을 적용하기 위해 구성한 3상 4선식 직렬 형 능동전력필터 회로도이다. 3상 다이오드 정류기의 부하 단에 3개의 R-L부하를 연결하였고, 5차 및 7차 고조파 성분을 제거하기 위한 수동필터를 구성하였다.

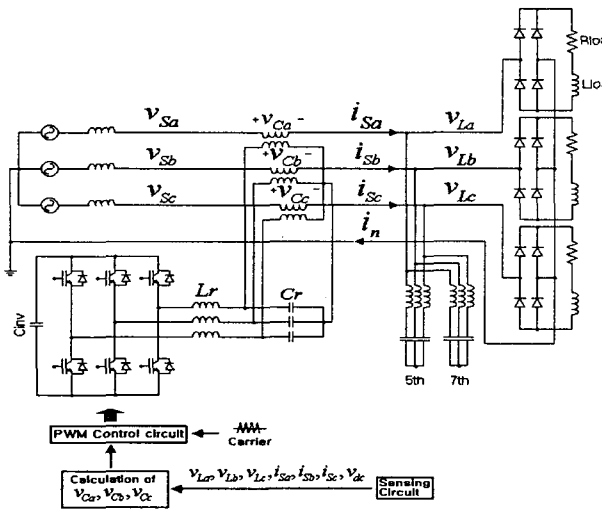


그림 4 3상 4선식 R-L 부하 직렬 형 능동전력필터 회로도  
Fig. 4 The series active power filter circuit in 3-phase 4-wire systems with R-L loads

그리고, 변압기를 사용한 3상 전압원 인버터를 계통에 직렬로 결합하여 3kVA급의 3상 4선식 직렬 형 능동전력필터를 구성하였다. 전원전압은 110[V]의 실효치를 인가하였고, 전원측 인덕터의 인덕턴스  $L_s$ 는 0.1[mH]이다. 그리고, 단상다이오드 정류기의 RL부하는 15 [Ω] - 15 [mH] 을 사용하였다. 인버터의 dc-link 전압은 150[V]로 제어하였고, 결합변압기의 권수비는 1:2로 시스템을 구성하여 실험하였다. 그리고, 0.5[μF], 4[mH]의 커패시터와 인덕터를 사용해서 인버터의 스위칭 리플저감을 위한 ripple filter를 구성하였다. 표 1에 구성된 시스템의 회로정수 값들을 나타내었고 표2-2는 수동필터 시스템 구성에 사용된 회로정수 값들이다. 직렬 형 능동전력필터는 3상 전압형 PWM 인버터를 교류 전원과 비선형 부하 사이에 3개의 결합변압기로 계통에 직렬 접속하여 구성하였다. 또한, 인버터의 출력 측에는 스위칭 리플을 저감시키기 위한 LC필터를 구성하였다. 표 2는 5차, 7차 병렬 수동필터의 회로정수 값들을 나타낸다.

표 1 3상 4선식 R-L부하 직렬 형 능동전력필터 시스템 회로 정수

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

전원전압	110[Vrms], 60[Hz]
전원측 인덕턴스( $L_s$ )	0.1[mH]
결합변압기 권수비	1 : 2
부하 인덕턴스( $L_L$ )	15[mH]
부하 저항( $R_{load}$ )	15[Ω](평형부하)
인버터 DC링크 콘덴서	2350[μF]
LC필터 인덕턴스( $L_f$ )	4[mH]
LC필터 콘덴서( $C_f$ )	0.5[μF]

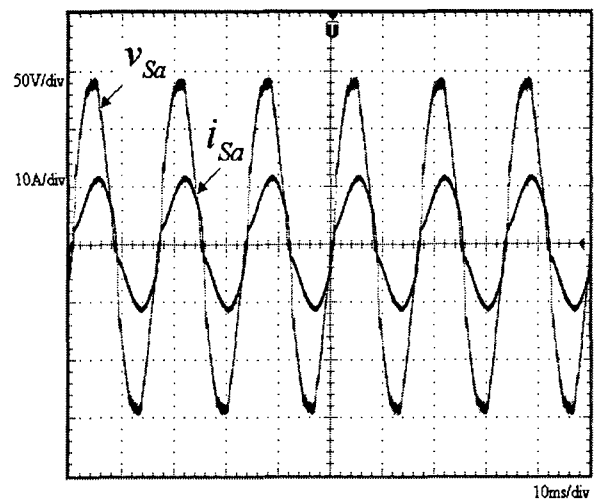
표 2 병렬 수동필터의 회로정수

Table 2 The circuit parameters of parallel passive filters

5th	인덕터( $L_{5th}$ )	2[mH]
	커패시터( $C_{5th}$ )	140[μF]
7th	인덕터( $L_{7th}$ )	2[mH]
	커패시터( $C_{7th}$ )	70[μF]

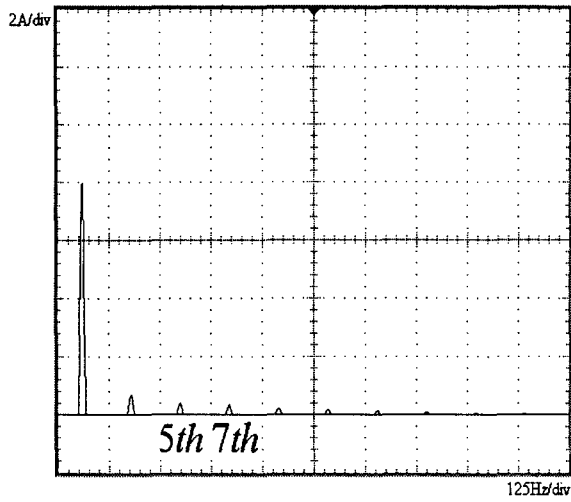
### 2.3 실험 결과

그림 5는 3상 다이오드 정류기 부하 단에 3개의 평형 R-L 부하를 연결하여 전원 전압, 전류 및 고조파 성분을 보여준다. 그림 5 (a)로부터 부하의 인덕턴스 성분에 의하여 전류의 파형이 왜곡되어 있음을 알 수 있고 이때의 역률은 지상 약 0.95이다. 그림 5 (b) 및 (c)는 전원 전류 및 부하 전압에 포함되어있는 고조파 성분의 주파수 분석(FFT ; Fast Fourier Transformation) 파형을 나타내고 있다.

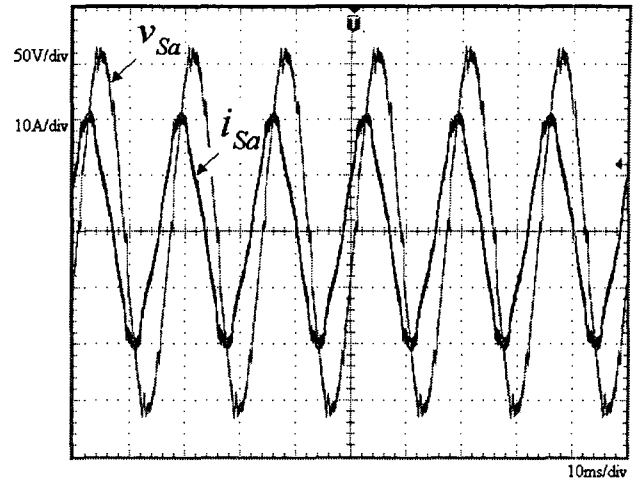


(a) 전원 전압 및 전류 파형 ( PF : 0.952 )

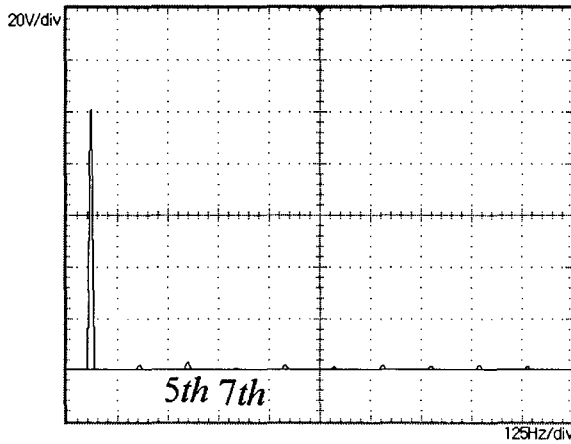
(a) Source current and voltage waveforms(PF : 0.952 )



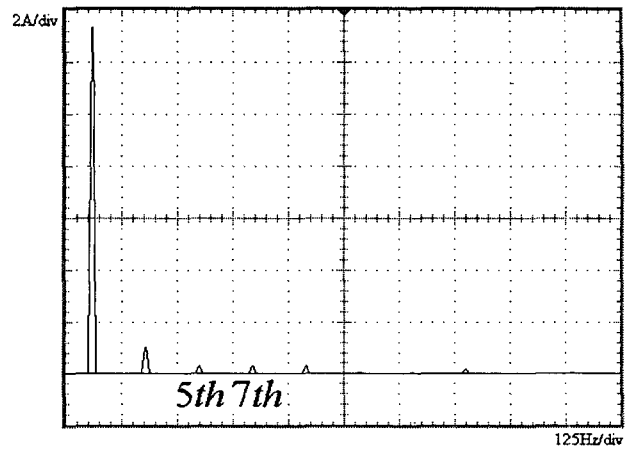
(b) 전류 스펙트럼 (THD : 10.4% )  
(b) Source current spectrum (THD : 10.4% )



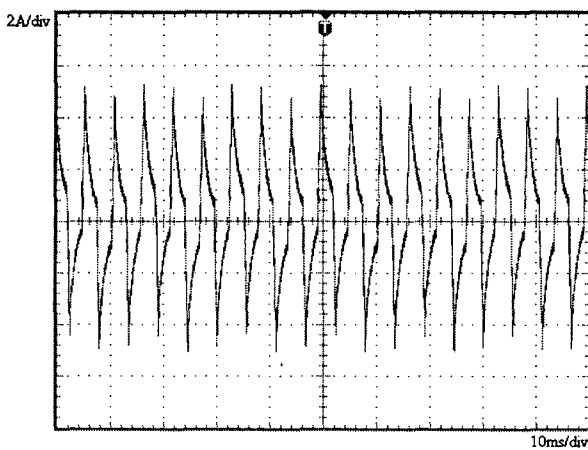
(a) 전원 전압 및 전류 파형 (PF : 0.652 lead)  
(a) Source current and voltage waveforms(PF : 0.652 lead)



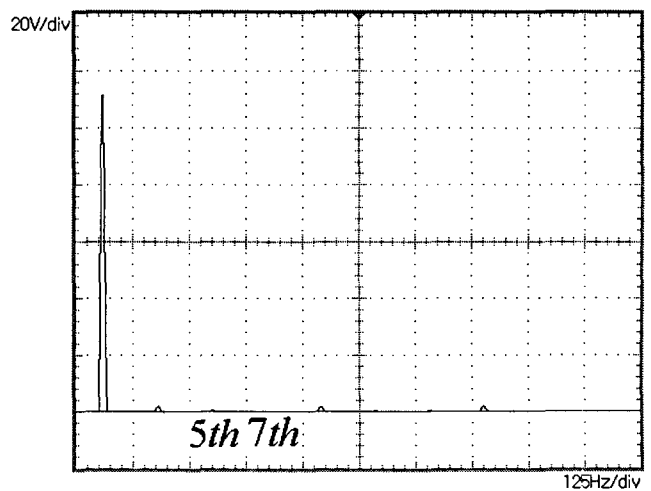
(c) 전압 스펙트럼 (THD : 5.28% )  
(c) Source current spectrum (THD : 5.28% )



(b) 전류 스펙트럼(THD : 8.7% )  
(b) Source current spectrum (THD : 8.7% )



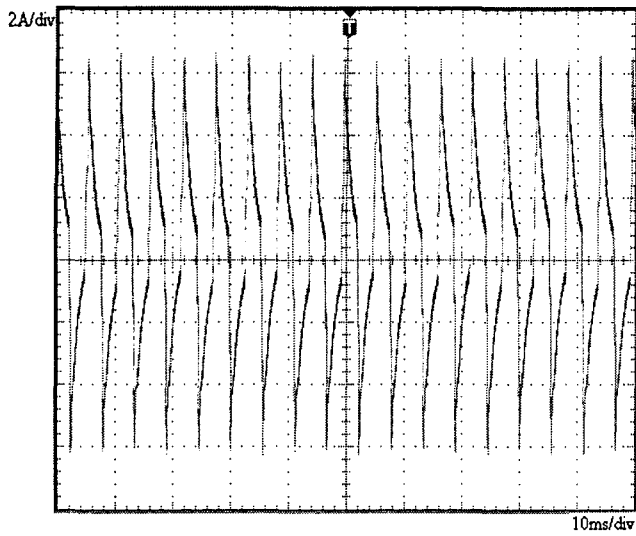
(d) 중성선 전류 파형 ( 2.26 [A] )  
(d) Neutral line current waveform( 2.26 [A] )



(c) 전압 스펙트럼(THD : 3.0% )  
(c) Source current spectrum (THD : 3.0% )

그림 5 3상-4선식 R-L 부하에서의 보상 전 파형

Fig. 5 Waveforms of 3-phase 4-wire system with R-L loads before compensation

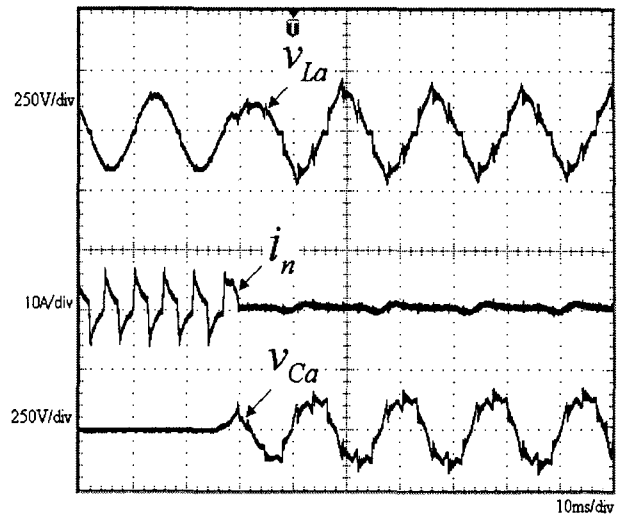


(d) 중성선 전류 파형 ( 2.26 [A] )

(d) Neutral line current waveform ( 2.26 [A] )

그림 6 3상-4선식 R-L 부하에서의 수동필터 보상 파형  
Fig. 6 Waveforms of 3-phase 4-wire system with R-L loads when compensated with passive filter

이 파형에는 고조파 성분뿐만 아니라 부하 불평형 (인덕턴스)에 의하여 3조파 성분이 함유되어 있는 것을 알 수 있다. 따라서 그림 5 (d)에 나타난 바와 같이 중성선에 정상분 상전류의 약 30%에 해당하는 전류가 흐르고 있다. 그림 6에 수동필터로 5차 및 7차를 보상한 후의 파형을 나타내었다. 정류기 부하에서 많이 발생하는 5차 및 7차 고조파 성분을 제거하여 전류 파형은 많이 개선 (8.7%) 되었지만 IEEE std. 519에서 제안하는 고조파 제한조건 (5% 이하)에는 아직도 미흡하며, 수동필터의 커패시터에 의해 역률이 진상 0.652로 나빠짐을 알 수 있다. 이러한 진상 역률은 부하단의 전압을 높게 하여 절연에 악 영향을 미친다. 또한 중성선 전류의 보상도 거의 이루어지지 않고 있다. 그림 7에 수동필터와 능동필터로 보상 시 과도 상태를 나타내고 있다.

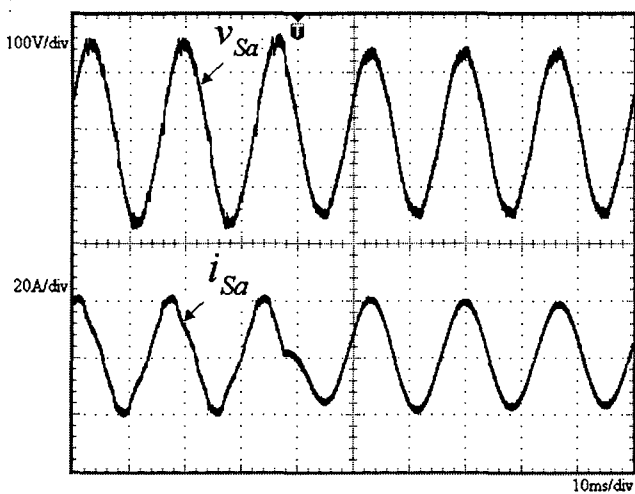


(b) A상 부하 측 전압, 중성선 전류 및 보상 전압 파형  
(b) A-phase load current, neutral line current and compensation voltage waveforms

그림 7 3상-4선식 R-L 부하에서 수동 및 능동필터 보상 시 과도 파형

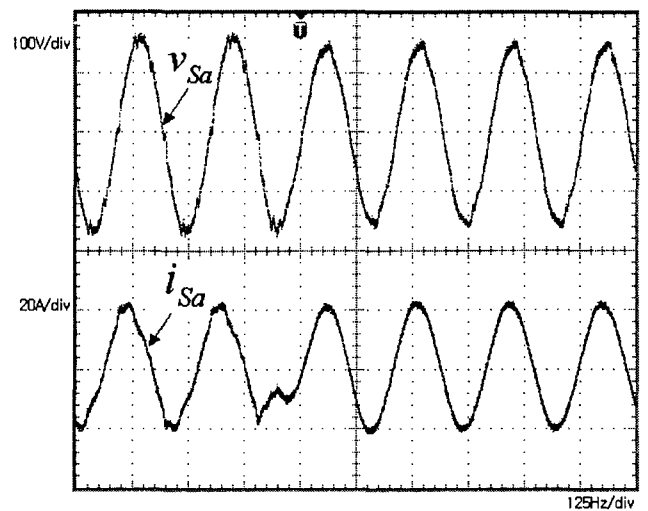
Fig. 7 Waveforms during transient in 3-phase 4-wire systems with R-L loads when compensated with passive filter and active power filter

전압 파형은 순시적으로 개선되나 전류는 지연이 발생하고, 급격한 역률의 변화로 위상 변동이 발생하는 것을 볼 수 있다. 또한 중성선 전류도 급격히 감소함을 알 수 있다. 그림 8은 본 논문에서 제안된 성능함수 이론의 유효성을 기존의 방법과 비교하기 위하여 참고문헌 [12]에서 제안된 일 반화된 P-Q이론을 사용하여 실험한 과도 상태 파형을 제시 하였다.



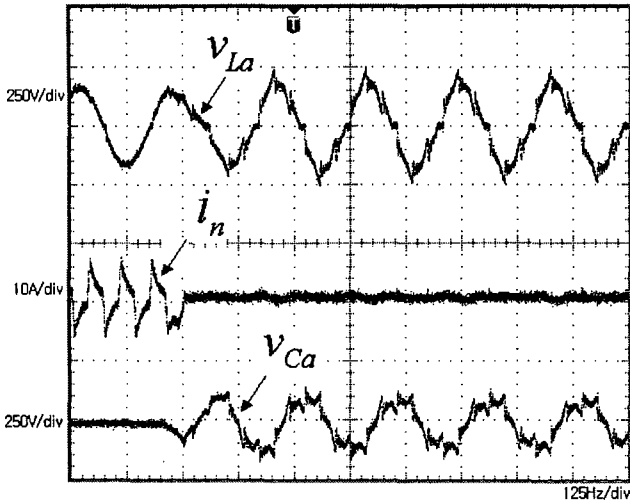
(a) A상 전원 측 전압 및 전류 파형

(a) A-phase source current and voltage waveforms



(a) A상 전원 측 전압 및 전류 파형

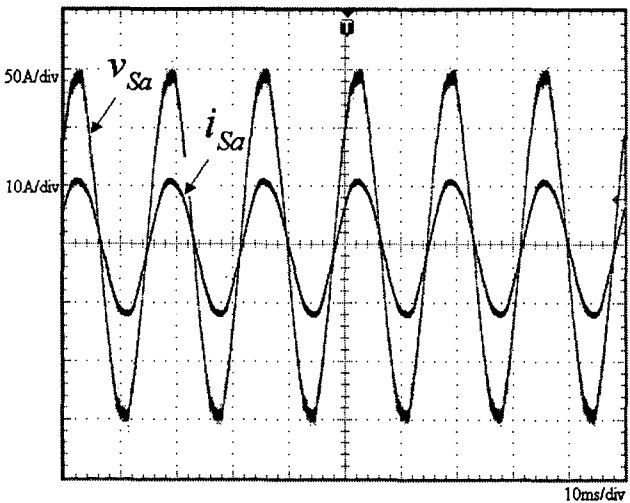
(a) A-phase source current and voltage waveforms



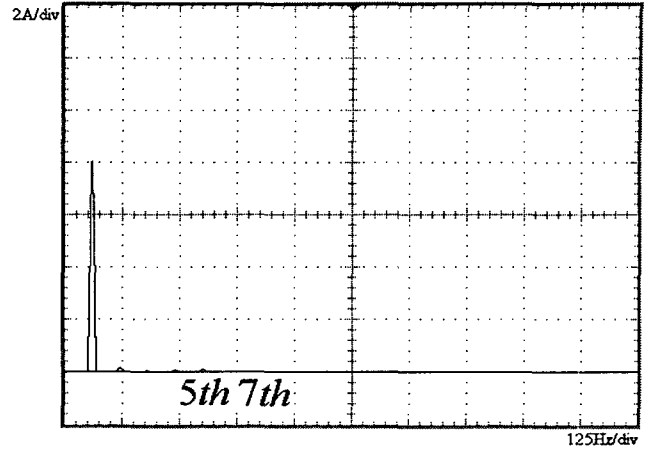
(b) A상 부하 측 전압, 중성 선 전류 및 보상전압 파형  
 (b) A-phase load current, neutral line current and compensation voltage waveforms

그림 8 3상-4선식 R-L 부하에서 일반화된 P-Q 이론을 이용하여 수동 및 능동필터 보상 시 과도 파형  
 Fig. 8 Waveforms during transient in 3-phase 4-wire systems with R-L loads when compensated with passive filter and active power filter using generalized

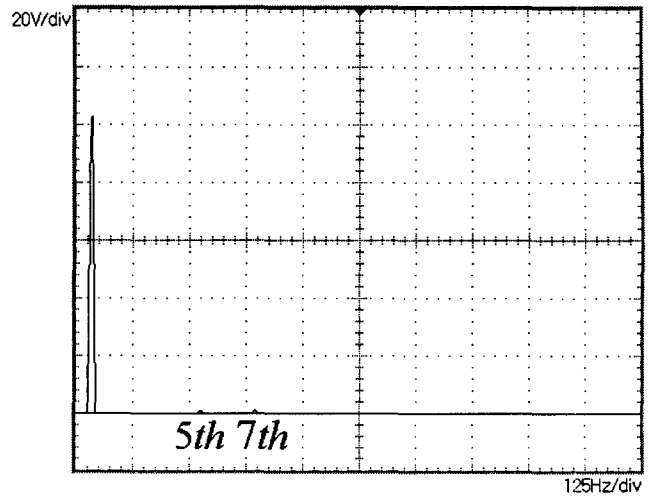
P-Q theory 그림 7과 비교하여 직렬형 능동전력필터의 보상효과는 동일한 것으로 고찰되지만 DSP의 샘플링 주파수는 성능함수 연산에서의 주파수 30[kHz] 보다 작은 25[kHz]에서 동작한다.



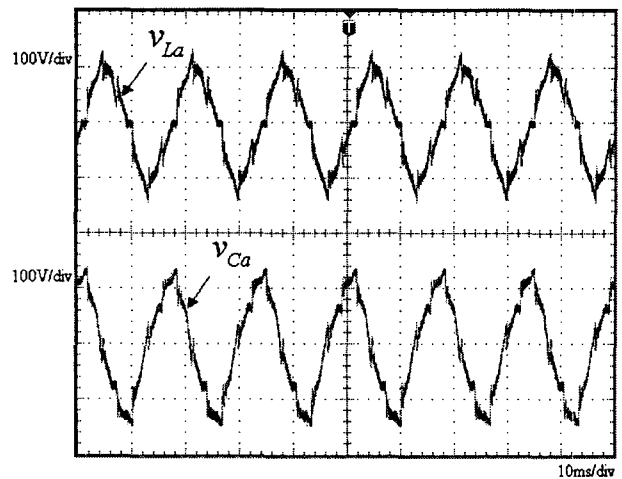
(a) 전원 측 전압 및 전류 파형 ( PF : 0.992 )  
 (a) Source current and voltage waveforms ( PF : 0.992 )



(b) 전류 스펙트럼 (THD : 2.35 % )  
 (b) Source current spectrum (THD : 2.35% )



(c) 전압 스펙트럼 (THD : 1.41 % )  
 (c) Source current spectrum (THD : 3.0% )



(d) 부하 전압 및 보상전압 파형  
 (d) Load voltage and compensation voltage waveforms  
 (e) 중성선 전류 파형  
 (e) neutral line current waveform

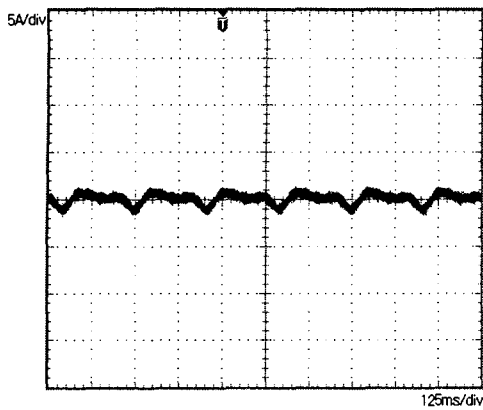
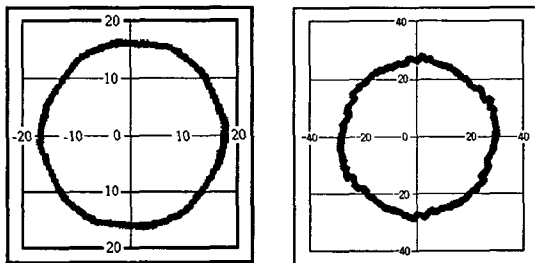


그림 9 3상-4선식 R-L 부하에서 수동 및 능동필터 보상 후 파형  
Fig. 9 waveforms of 3-phase 4-wire system with R-L loads after compensation

원인은 보상 성분을 연산하기 위한 Filter 의 영향 및 좌표 축 변환에 따른 시간 지연으로 고찰 된다. 아울러, 이러한 방법은 보상전류를 구하여 이득을 연산하는 방법으로 적당한 이득을 구하기 위한 노력이 요구된다. 그림 9는 수동필터와 능동 필터로 보상 시 정상 상태에서의 실험 파형들을 보여주고 있다. 상전류의 THD는 보상 전 약 10.4%에서 보상 후 3.0%로 개선되었고, 역률 역시 보상 전 0.95에서 보상 후 약 1로 증가하였다. 3상 4선식 전원 시스템의 중성선 전류는 보상 전 약 2.26[A]에서 보상 후 약 0.9[A]로 감소(2/5)하여 중성선 전류를 억제할 수 있음을 알 수 있다.



(a) 보상 전 3상전류의 2상 벡터 변환  
(a) without compensation  
(b) 수동필터 보상 시 3상전류의 2상 벡터 변환  
(b) compensation with the passive filter  
(c) 수동 및 능동필터 보상 시 3상 전류의 2상 벡터 변환  
(c) Compensation with the passive filter and active power filter

그림 10 3상전류의 2상 벡터 변환  
Fig. 10 Vector transformation of 3-phase currents into 2-phase coordinates

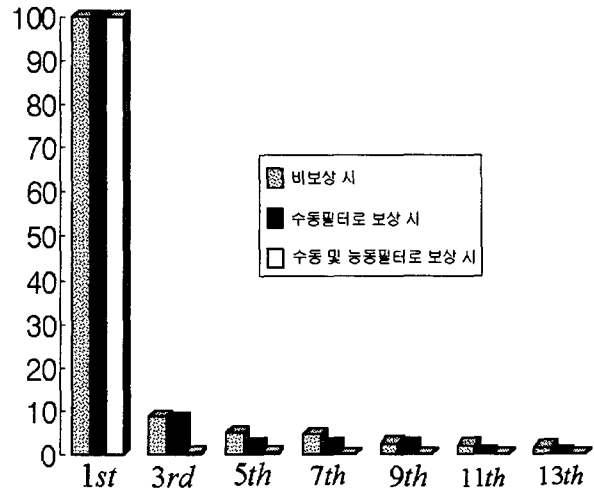


그림 11 고조파 보상 전 · 후 입력 전류 스펙트라  
Fig. 11 Input currents spectra before and after harmonic compensation

그림 11의 파형은 3상전류를 2상 벡터변환 했을 경우의 파형이다. 3상 정현파인 경우에 나타나는 파형은 원형으로 나타나지만 고조파의 영향이 크면 클수록 파형이 더 왜곡되어진다. 능동필터의 역할은 수동 필터의 영향으로 고조파를 보상하기보다 역률을 개선하는 역할이 주로 이루어지고 있으며, 이는 적은 용량의 능동필터로 대용량의 전력 시스템에 적용할 수 있음을 의미하므로 본 논문에서 제안하는 능동필터를 고조파 전류원 부하를 갖고 있고 수동필터가 설치되어있는 전력시스템에 적용하면 경제적임을 알 수 있다

### 3. 결 론

본 논문에서는 3상 4선식에 적용되는 하이브리드 형 직렬 능동필터의 제어알고리즘을 제시하였다. 보상기준전압과 부하 전압을 이용해서 성능함수를 정의하였고, 이 성능함수를 최소화하는 보상기준전압을 도출함으로써 전원단의 고조파를 최소화할 수 있음을 보였다. 고조파 전류원의 상전류 THD가 5%미만인 우수한 보상결과를 얻을 수 있었고 무효전력보상을 실현하여 전원단 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.

### 감사의 글

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라구축 지원 사업으로 수행된 논문입니다.



참 고 문 헌

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

[2] 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.

[3] Fang Z. and Donald J. Adams, "Harmonic sources and filtering approaches", IEEE, Industry Applications Magazine, vol. 7, issue 4, pp. 18-25, July-August 2001.

[4] F. Z. Peng, H. Akagi and A. Nabae, "Compensation Characteristics of the Combined System of Shunt Passive and Series Active Filters", IEEE Trans. Ind. vol. 29, no. 1, pp. 144-152, April 1993.

[5] Fang Zheng Peng, et al., "A new serial hybrid active power filter using controllable current source " Power Electronics Specialists Conference, 2002. PESC 02. 2002 IEEE 33rd Annual, vol. 1, pp. 364-368, 23-27 June 2002.

[6] Bhattacharya, S. Po-Tai Cheng, Divan D.M., "Control of square-wave inverters in high power hybrid active filter systems" Industry Applications Conference, 1996. Thirty-First IAS Annual Meeting, IAS '96 Conference Record of the 1996 IEEE, vol 2, pp. 1106 -1113, 6-10 Oct. 1996.

[7] Bhattacharya, S., Divan, D.M., Banerjee B.B., "Control and reduction of terminal voltage total harmonic distortion (THD) in a hybrid series active and parallel passive filter system " Power Electronics Specialists Conference, 1993. PESC '93 Record, 24th Annual IEEE, pp. 779 -786, 20-24 Jun 1993.

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

[9] Aredes M., Hafner J., Heumann K., "Three-Phase Four-Wire Shunt Active Filter Control Strategies" IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 12, no. 2, pp. 311-318, March 1997.

[10] H. Akagi, et al. "Instantaneous Reactive Power Compensators Comprising Switching Devices without Energy Storage Components." IEEE Transactions on Industry Applications, vol. IA-20, no. 3, pp. 625-630, May/June 1984.

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

[12] Fang Zheng Peng, George W. Ott and Don 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, 1998, 13(6), pp. 1174-1181

[13] Enjeti P., Shireen W., Packebush P., Pitel I., "Analysis and design of a new active power filter to cancel neutral current harmonics in three phase four wire electric distribution systems" Industry Applications Society Annual Meeting, 1993, Conference Record of the 1993 IEEE, vol.2, pp. 939-946, 2-8 Oct. 1993.

저 자 소 개



신재화(申載華)

1942년 12월 4일 생. 1975년 인하대 전기공학과 졸업. 1982년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년~현재. 인하대학원 전기공학과 박사과정. 1975년~현재 인천전문대학 전기과 교수.  
Tel : 032-760-8701, Fax 032-760-8895  
E-mail : shinjh@icc.ac.kr



김진선(金振鮮)

1959년 9월 22일 생. 1986년 인하대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과(기기 및 제어 전공) 졸업(석사). 1988년~1997년 LG 석유화학/엔지니어링 재직. 1999~2001 안양 과학대 초빙교수. 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.  
Tel : 032-860-7397, Fax 032-863-5822  
E-mail : jsk2473@hanmail.net



김영석(金榮石)

1951년 6월 11일 생, 1977년 인하대 전기공학과 졸업. 1987년 일본 나고야대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1987~1989년 전기연구원 전력전자 연구실장. 현재 인하대 전자·전기공학 부 교수  
Tel : 032-860-7397, Fax : 032-863-5822  
E-mail : young나@inha.ac.kr