

# 사이리스터 정류부하를 위한 새로운 저원가 복합형 전력필터

論文

53B-1-4

## A New Low Cost Hybrid Power Filter for Thyristor-Controlled Rectifier Load

韓聖龍\* · 金秀坤\*\* · 石元燁\*\*\* · 趙貞九<sup>§</sup> · 宋義鎬<sup>§§</sup> · 田喜鐘<sup>§§§</sup>

(Seong-Ryong Hahn · Soo-Gon Kim · Won-Yeob Suk · Jung-Gu Cho · Eui-Ho Song · Hee-Jhong Jeon)

**Abstract** - A new low cost hybrid active filter for thyristor-controlled rectifier load is presented to overcome the high cost problem of the active or the other hybrid active filters. The proposed hybrid active filter which consists of tuned (5th and 7th harmonics) LC passive filters, power factor improvement(PFI) capacitor bank, and active filter compensates power factor as well as harmonic currents. Since most of harmonic currents are filtered by the passive filter and most of reactive power is compensated by the PFI capacitor bank, the power rating of active filter can be minimized, resulting in cost minimization of the proposed hybrid active filter. A 300kVA hybrid active filter system is implemented and tested using 1MVA thyristor rectifier load to verify the operation and performance.

**Key Words** : Hybrid active power filter, harmonics, power factor, low cost.

### 1. 서 론

산업의 발달과 더불어 전기에너지의 사용형태는 발전소에서 공급되는 전기를 직접 사용하기보다는 전력변환장치를 통해서 전기를 가공하여 사용하는 경우가 점차로 증가하고 있다. 전기에너지를 가공하여 사용할 경우 에너지 사용 효율을 높이고, 응용 분야를 다양화시키는 장점이 있기 때문에, 수년 내에 90% 이상의 전기에너지가 전력변환장치를 통하여 사용이 될 것으로 예상되고 있다. 그러나, 전력변환장치를 사용함으로써 고조파와 무효전력이 발생되고, 이에 따라서 전압 sag나 surge, 및 flicker 같은 현상이 발생하여 전력의 품질저하의 주원인이 될 뿐 아니라 전력계통에도 심각한 영향을 초래한다. 배전망에서 전류고조파에 의한 전압의 일그러짐은 심각한 문제를 일으킬 수 있으며, 말단 부하들간의 상호공진 및 배전망과 부하간의 공진 등으로 인해 시스템의 안정도를 저하시키고 연결된 장비의 안전동작영역의 여유를 줄이게 된다. PCC (Point of Common Coupling) 단에 대한 전력변환장치의 고조파 규제는 IEEE 519에 잘 나타나 있다. 또한 역률저하에 따른 기본파 전류 성분의 무효전력은 전력공급업체에 전력공급설비의 비용증가를 초래한다. 최근 전력 공급업체는 사용 역률에 따른 비용환급제도를 시행하여 소비자의 역률

개선을 유도하고 있다 [1].

전력용 필터는 전력변환장치에 의해서 발생하는 고조파와 저역률을 보상하는 장치로서 크게 수동필터, 진상용 콘덴서, 능동필터, 수동필터와 능동필터를 결합한 복합형 능동필터로 나눌 수 있다. 수동필터는 인덕터와 캐패시터의 공진회로로 구성되며 특정 차수의 고조파만을 제거할 수 있다. 따라서, 제거해야할 고조파 차수가 많다면 그 만큼의 수동필터가 필요하다. 수동필터는 저원가에 신뢰성이 높은 장점이 있는 반면 공진 주파수를 정확히 고조파 차수에 맞추기 어렵고, 전원 임피던스와의 공진현상이 생기는 단점을 갖는다. 수동필터는 역률보상 목적으로는 사용할 수 없다.

진상용 콘덴서는 계통에 진상전류를 흘리므로서 역률보상을 할 수 있다. 그러나, 부하가 변할 경우에는 정확한 보상이 되지 않는 단점이 있다. 진상용 콘덴서는 고조파 제거 목적으로는 사용할 수 없다.

능동필터는 모든 차수의 고조파를 제거할 수 있을 뿐만 아니라 역률까지도 보상이 가능하다. 그러나, 단가가 높아서 널리 사용이 되지 못하고 있다. 특히, 역률보상을 하게 되면 기본파 성분이 능동필터로 흘러서 능동필터의 용량이 커지고 가격도 올라가게 되어 바람직하지 않다.

수동필터와 능동필터의 장단점을 상호 보완하여 고성능, 저원가를 구현하기 위해서 수동필터와 능동필터를 결합한 복합형 능동필터에 대한 연구가 활발히 진행이 되고 있다. [2,3] 수동필터와 능동필터를 결합하는 방법에 따라서 여러 가지 조합의 복합형 능동필터가 나올 수 있으며, 직렬-직렬형과 직렬-병렬형, 및 병렬-병렬형의 복합형 능동필터가 가장 많이 연구되고 있다. 그러나, 복합형 능동필터의 대부분은 고조파 제거기능만 가질 뿐 역률보상 기능이 없어서 사이리스터 정류부하와 같은 역률보상이 필요한 부하에 대해서는 사용이 곤란한 문제점을 가지고 있다.

\* 正會員 : 産業技術 平價院 首席 研究員 · 工博

\*\* 正會員 : 崇實大學校 電氣工學科

\*\*\* 正會員 : 인천기능大學 副教授

§ 正會員 : (주)그린과워 대표 · 工博

§§ 正會員 : 蒼遠大學校 制御計測工學科 副教授 · 工博

§§§ 正會員 : 崇實大學校 電氣工學科 教授

接受日字 : 2003년 6월 9일

最終完了 : 2003년 11월 3일

본 논문에서는 고조파 제거는 물론 역률보상도 가능한 고성능, 저원가의 새로운 복합형 능동필터를 제안하고자 한다. 제안된 전력필터는 수동필터와 진상용 콘덴서 뱅크 및 능동필터가 결합된 복합형 능동필터로서 대부분의 고조파 제거는 수동필터에 의해서, 대부분의 역률보상은 진상용 콘덴서에 의해서 수행되며, 미진한 고조파 제거 및 역률보상은 능동필터가 담당한다. 따라서, 능동필터의 용량을 최소화 할 수 있으며, 전체 시스템의 제작원가 또한, 최소화가 가능해진다.

제안된 복합형 능동필터의 동작 및 성능을 확인하기 위해서 300kVA급 복합형 능동필터를 설계, 제작하였으며, 1MVA급 싸이리스터 정류기부하를 대상으로 실험한 결과를 제시한다.

## 2. 시스템 구성 및 설계

### 2.1 시스템 구성 및 동작

제안된 복합형 능동필터의 전체 구성도를 그림 1에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이, 제안된 복합형 필터는 수동필터와 진상용 콘덴서 및 능동필터로 구성되어 있다. 고조파 발생 및 역률을 저하시키는 대표적인 부하인 싸이리스터 컨버터가 부하로 선택되었다. 부하전류  $i_o$ 는 6-펄스 형태이며, 싸이리스터의 점도각  $\alpha$ 에 따라 기본파의 크기와 역률이 변한다. 고조파 전류의 주성분인 5차와 7차 성분은 수동필터에 의해 제거되고, 진상용 콘덴서 뱅크의 조합에 의해 전원전류  $i_s$ 의 기본파 성분의 역률 보상이 이루어진다. 잔여 고조파 제거와 잔여 역률보상은 능동필터가 담당한다. 수동필터와 능동필터의 중간에 연결된 직렬 인덕터  $L_s$ 는 부하전류를 부드럽게 완충시키는 역할을 수행함과 동시에 수동필터 측에서 바라본 전원 측 임피던스를 증가시켜 수동필터의 효과를 증대시키는 역할을 수행한다. 그러나, 직렬 인덕터의 추가로 인해 라인전류의 위상지연이 발생하고 따라서 역률이 나빠지는 원인을 초래하게 된다. 이것을 보상하기 위해서는 별도의 진상 콘덴서 20kVA가 기본적으로 설치된다.

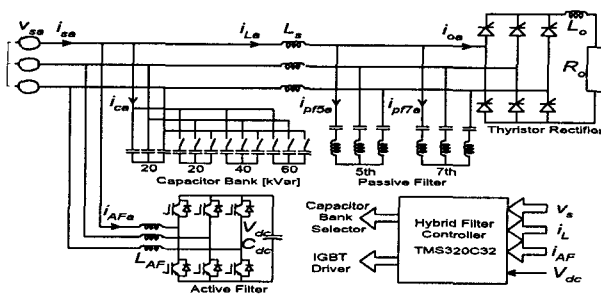


그림 1 복합형 전력필터의 구성도  
Fig. 1 System configuration of hybrid power filter

### 2.2 제안된 복합형 전력필터의 설계

제안된 복합형 능동필터를 설계하기 위해서는 먼저 각 부분의 용량분담을 정해야 한다. 용량 분담율은 제작원가 및 전체시스템의 복잡도를 고려하여 선정하였다.

### 2.2.1 수동필터설계

수동필터의 공진 주파수는 고조파 함유량이 가장 큰 5차, 7차에 맞추어진다. 수동필터의 설계에 있어서 특성임피던스를 정하는 것이 매우 중요하다. 특성임피던스가 작으면 고조파에 민감하게 반응하기 때문에 고조파 제거는 용이하지만 기본파 주파수에 대한 임피던스가 작아져 수동필터를 통해서 기본파 전류가 많이 흘러 손실이 증가하게 된다. 반대로 특성임피던스가 너무 크면 기본파 전류에 의한 손실은 작아지만 고조파 제거 효과는 떨어지게 된다. 시뮬레이션을 통해서 특성임피던스에 따른 고조파 감쇄효과를 조사하였으며 특성임피던스  $Z_c=4.3\Omega$ 에서 가장 우수한 특성을 얻을 수 있었다. 설계된 LC 값은 표 1에 나타내었다. 수동필터의 용량은 40kVA 이다.

### 2.2.2 가변 진상용콘덴서 설계

역률을 보상하기 위한 콘덴서의 용량은 총 140kVar로 하였다. 기본적으로 고정되어 있는 콘덴서의 보상 용량이 20kVar이고 가변 보상용량은 총 120kVar에 이른다. 부하가 변함에 따라서 보상해야 될 무효전력이 변하게 됨으로 역률 보상을 효과적으로 하기 위해서는 진상용 콘덴서를 가변하여야 한다. 능동필터의 부담을 최대한 줄이기 위해서는 진상용 콘덴서의 가변 단계가 많으면 많을수록 좋겠지만 제작단가가 올라가기 때문에 적절하게 정하여야 한다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 가장 적절한 진상용 콘덴서 가변단위를 20kVar로 정하였다. 이를 위해서 진상용 콘덴서의 구성을 그림 1과 같이 하였다. 20kVar 기본 콘덴서는 직렬 인덕터  $L_s$ 에 의한 지연성분을 상쇄시키는 것을 목적으로 하기 때문에 항상 연결되어 있으며, 나머지 3개의 콘덴서(20kVar, 40kVar, 60kVar)는 부하의 무효전력량에 따라서 동적으로 연결하거나 제거하도록 하여 역률보상을 최적으로 할 수 있도록 하였다. 진상용 콘덴서의 조합에 의해 무효전력은 20kVar씩 총 8단계로 가변이 가능하며 최대 140kVar를 보상할 수 있다. 진상용 콘덴서를 연결하는 스위치는 그림 1과 같이 양방향 싸이리스터 스위치를 이용하여 구현하였다.

### 2.2.3 능동필터 설계

능동필터는 역률이나 고조파를 능동적으로 보상할 수 있으며, 과도 상태에서도 빠르게 제거가 가능하기 때문에 전원측에서는 항상 최소의 고조파와 최대의 역률을 얻을 수 있다. 복합형 전력필터의 개념을 도입하여 전체적인 제작비용을 많이 줄일 수 있으나, 복합형 전력필터내의 능동필터 자체의 원가를 최소화시킬 필요가 있다. 이를 위해서 최적 전력회로설계, 최적 전력소자 선정, 최적 스위칭 주파수 선정 등이 이루어져야 하며, 제어회로도 단순화되어야 한다. 능동필터의 용량은 120kVA 급으로 제작되었으며, 입력전압 380V, DC 링크 전압은 750V 그리고 스위칭 주파수는 12kHz로 DSP (TMS320C32)를 이용하여 제어된다.

### 3. 제어전략

복합형 능동필터의 전체 제어구성도를 그림 2에 나타내었다. 능동필터를 제어하기 위한 기본 제어개념을 설명하기 위해서 순시전력 제어이론[4]을 도입한다.

전원전압  $v_s$ 의 a상과 b상으로부터 고정 좌표계의  $\alpha$ - $\beta$  축 성분은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} v_{sa} \\ v_{sb} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{3}{2}} v_{sa} \\ \frac{\sqrt{2}}{2} v_{sa} + \sqrt{2} v_{sb} \end{bmatrix} \quad (1)$$

수동필터에 흐르는 전류  $i_{pfs}$  및  $i_{pfn}$ 과 비 선형 부하에 흐르는 전류  $i_o$ 를 합친 전류  $i_L$ 의  $\alpha$ - $\beta$  축 성분은 같은 방법으로 계산된다.

$$\begin{bmatrix} i_{La} \\ i_{Lb} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{3}{2}} i_{La} \\ \frac{\sqrt{2}}{2} i_{La} + \sqrt{2} i_{Lb} \end{bmatrix} \quad (2)$$

순시 전력제어이론에 근거하여 부하에 흐르는 순시전력은 다음 식을 이용하여 계산된다.

$$\begin{bmatrix} p_L \\ q_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{sa} & v_{sb} \\ -v_{sb} & v_{sa} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{La} \\ i_{Lb} \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서  $p_L$ 은 유효전력,  $q_L$ 은 무효전력을 나타낸다. 제어기에서 계산된 순시전력은 저역필터에 의해 직류성분  $\overline{p_L}$  및  $\overline{q_L}$ 과 교류성분  $\tilde{p}_L$  및  $\tilde{q}_L$ 으로 나누어진다. 직류성분은 기본파 전류, 교류성분은 고조파 전류를 나타낸다. 제안된 복합형 전력필터는 고조파제거 및 역률 개선을 목표로 하고 있다. 따라서 고조파 제거를 위해  $\tilde{p}_L$  과  $\tilde{q}_L$ 을 제거하고 역률 개선을 위해  $\overline{q_L}$ 을 제거해야 한다.

dc 링크전압은 직류이므로 dc 링크전압의 제어는 능동필터의 교류단에서 유효전력을 제어해야 한다. 따라서 dc 링크전압의 제어성분과 부하에 흐르는 유효전력의 교류성분  $\tilde{p}_L$ 과 합쳐 능동필터에서 보상해주어야 하는 유효전력  $p_c$ 를 구성한다.

제안된 복합형 능동필터에서는 가변 콘덴서 뱅크를 사용하여 능동필터의 전력분담을 줄이고 있다. 가변 콘덴서는 제한된 뱅크 개수로 인해서 불연속적인 전력분담 특성을 가진다. 따라서 가변 콘덴서는 부하에서 요구되는 무효전력  $q_L$  과 콘덴서 뱅크에서 선택될 수 있는 무효전력  $q_{SEL}$ 의 차를 최소화시키는 방향으로 선택된다.

$$J = \min | \overline{q_L} - \overline{q_{SEL}} | \quad (4)$$

또한 제어기는 부하측 무효전력이 가변 콘덴서가 보상할 수 있는 범위의 가운데 부분에 해당할 때 발생할 수 있는

채터링(chattering) 문제를 피하기 위해 적절한 히스테리시스 폭을 둔다.

부하에서 요구되는 무효전력과 콘덴서 뱅크에서 분담하는 무효전력의 차는 능동필터에서 보상해 주어야 한다. 능동필터가 보상해야할 전력이 결정되면 다음 식에 의해  $\alpha$ - $\beta$  축 성분의 능동필터 전류 지령치를 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} i_{AFa}^* \\ i_{AFb}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{sa} & v_{sb} \\ -v_{sb} & v_{sa} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} p_{AF}^* \\ q_{AF}^* \end{bmatrix} \quad (5)$$

$\alpha$ - $\beta$  축 성분으로부터 3상 전류는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{bmatrix} i_{AFa}^* \\ i_{AFb}^* \\ i_{AFc}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{2}{3}} & 0 \\ -\frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{AFa}^* \\ i_{AFb}^* \end{bmatrix} \quad (6)$$

계산된 전류 지령치는 PWM 전류제어기를 통해 능동필터의 전류를 제어한다.

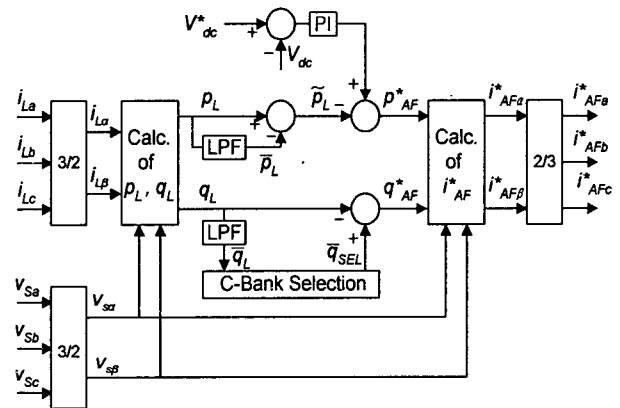


그림 2 복합형 전력필터의 제어 구성도  
Fig. 2 Control scheme of the hybrid power filter

콘덴서 뱅크는 양방향 싸이리스터 스위치에 의해 구현되며, 각 상의 상전압이 0 [V] 가 될 때 켜지게 되어 돌입전류를 방지한다. 콘덴서 뱅크의 스위치는 부하전류의 무효전력량에 따라 자동으로 가변되며, 설치된 20, 20, 40, 60kVar의 역률 개선용 콘덴서의 조합에 의해 총 7단계의 역률 개선용 콘덴서의 값을 바꿀 수 있다.

### 4. 실험결과 및 분석

300KVA급 복합형 능동필터를 제작하였으며, 싸이리스터 정류기 부하를 대상으로 실험이 수행되었다. 표 1은 실험에 사용된 각종 파라미터들의 값을 나타낸다.

역률 개선용 진상콘덴서의 조합에 의해 보상할 수 있는 무효전력은 부하 용량에 따라 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140kVar로 조정될 수 있다. 실험에 사용된 부하의 무효전력은 100kVar 와 90kVar이다. 부하의 무효전력이 100kVar 일 때

는 역률 개선용 콘덴서에 의해 기본파 성분의 무효전력이 완전히 상쇄되어 능동필터에서 보상하는 기본파 성분의 무효전력은 없다. 그러나 부하의 무효전력이 90kVar에서는 기본파 성분의 무효전력이 역률 개선용 콘덴서 뱅크에 의해 상쇄되고, 입력전류가 단위 역률이 되기 위해서 나머지 10kVar는 능동필터에서 감당해야 한다.

표 1 복합형 능동필터의 실험에 사용된 파라미터  
Table 1 Parameters used in experiments of the hybrid active power filter system

입력전압	3Φ 380V
진상 캐패시터	20kVar (기본, 고정) 20, 40, 60 kVar (가변)
직렬 인덕터 (L <sub>s</sub> )	300uH
5차 수동필터	L5=2.23mH, C5=120uF
7차 수동필터	L7=1.43mH, C7=89uF
능동필터 인덕터 (L <sub>AF</sub> )	800uH
능동필터 캐패시터 (C <sub>ac</sub> )	21mF
싸이리스터 부하단 인덕터 (L <sub>o</sub> )	3.6mH
싸이리스터 부하단 저항 (R <sub>o</sub> )	0.9Ω
능동필터 스위칭 주파수	12kHz

실험결과 파형인 그림 3에서는 싸이리스터의 출력전압 4.0V일 때 유효전력 186kW, 무효전력 100kVar 상태에서의 수동필터와 능동필터 및 역률 개선용 콘덴서가 부착되지 않았을 때의 부하전류  $i_o$ 의 파형과 FFT 결과를 보여준다. 부하전류의 파형으로부터 전원전압  $v_s$ 와 위상차가 존재하며, 고조파 전류가 함유되어 있음을 알 수 있다. 그림 4에 5차 및 7차 수동필터를 부착하고 난 뒤 입력전류의 개선된 모습과 각각의 수동필터에 흐르는 전류가 나타나 있다. 수동필터에 의해 입력전류  $i_s$ 의 고조파 성분이 많이 제거되었음을 알 수 있다. 그러나 기본파 성분의 역률은 변하지 않는다. 그림 5에서는 역률 개선용 콘덴서를 제외하고 수동 및 능동필터를 부가하여 전원전류  $i_s$ 가 전압  $v_s$ 와 동 위상이 되는 것을 보여준다. 이때 역률 개선용 콘덴서가 부착되지 않았으므로 능동필터의 전류에 고조파 전류와 함께 포함된 기본파 성분의 지상전류가 매우 커져 있는 것을 알 수 있다. 또한 FFT 결과에서 알 수 있듯이 능동필터에 의해 고조파 전류의 크기가 감소되었음을 알 수 있다. 그림 6에서는 수동 및 능동필터와 100kVar의 진상콘덴서가 부착되어 능동필터에 흐르는 기본파 성분의 지상전류가 감소되었음을 알 수 있다. 역률 개선용 콘덴서는 제한된 콘덴서 뱅크 수에 의해 불연속적인 값을 가진다. 능동필터는 불연속 구간의 중간에서 최대 무효전력을 감당하여야 한다. 이러한 상황이 그림 7에 보여진다. 그림 7에서는 역률 개선용 콘덴서를 100kVar의 값으로 유지한 상태에서 싸이리스터  $\alpha$ 각을 줄여 무효전력을 90kVar로 변동시켰을 때 능동필터가 보상하는 기본파 성분의 지상전류가 증가하는 것을 볼 수 있다.

콘덴서 뱅크가 없는 경우를 실험하기 위하여 능동전력 필터의 용량을 120kVA로 제작하였다. 그러나 그림 6과 그림 7의 실험결과에서 알 수 있듯이 콘덴서 뱅크가 설계목적에 맞게 동작하는 경우에는 능동전력 필터의 용량이 18kVA급이면 충분하다. 본 연구와 같은 방법으로 능동필터의 용량을 줄여서 복합형 전력 필터를 설계할 수 있다.

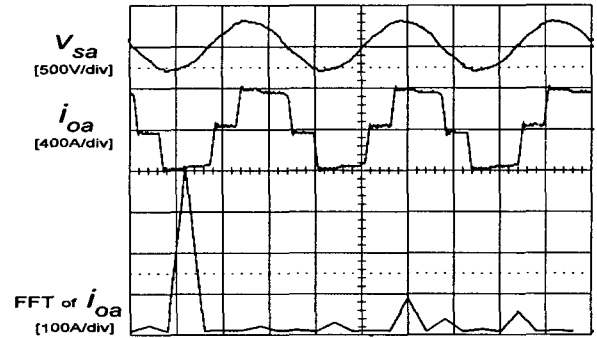


그림 3 모든 필터 및 콘덴서 뱅크가 제거되었을 때의 파형  
Fig. 3 System waveforms when all filters and capacitor bank are removed

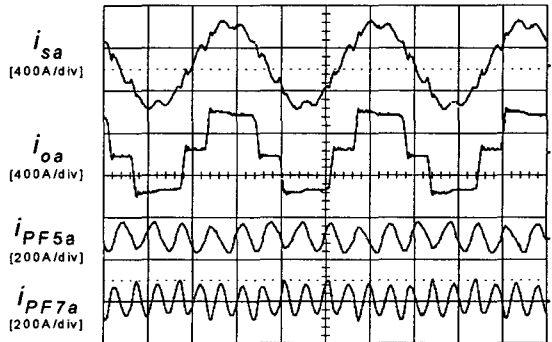


그림 4 5차 및 7차 수동필터만 연결되었을 때의 파형  
Fig. 4 System waveform when only the 5th and 7th passive filters are connected

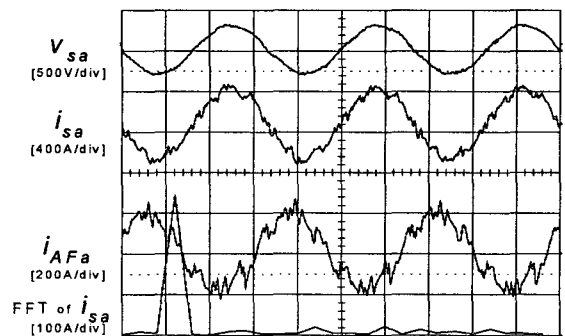


그림 5 수동 및 능동필터가 연결되었을 때의 파형  
Fig. 5 System waveform when the passive and the active filters are connected

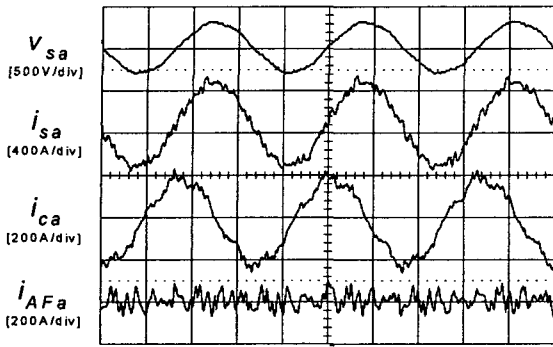


그림 6 100kVar 부하조건에서 수동, 능동필터 및 100kVar 콘덴서 뱅크가 연결되었을 때의 파형

Fig. 6 System waveform when the passive, the active filters, and 100kVar capacitor bank are connected under 100kVar load demand

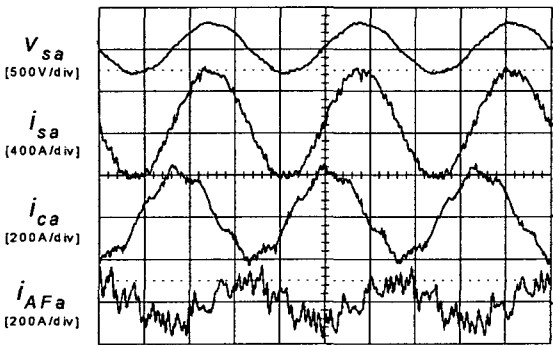


그림 7 90kVar 부하조건에서 수동, 능동필터 및 100kVar 콘덴서 뱅크가 연결되었을 때의 파형

Fig. 7 System waveform when the passive, the active filters, and 100kVar capacitor bank are connected under 90kVar load demand

## 5. 결 론

최근 심각하게 대두되고 있는 고조파 장해를 해결하기 위한 수단으로 수동필터나 능동필터가 고려되어왔지만 수동필터는 전원 임피던스와의 공진 현상을 피할 수 없고, 능동필터는 성능은 우수하지만 원가가 높은 단점 때문에 널리 사용되지 못하고 있는 실정이다. 본 논문에서는 수동필터와 능동필터의 단점은 서로 보완하고 장점은 살리기 위해서 수동필터와 능동필터가 결합된 복합형 전력필터를 개발하였다. 개발된 복합형 전력필터는 고조파전류와 무효전력을 모두 제거하는 기능을 가지고 있다.

복합형 전력필터의 제작비용을 줄이기 위해 역률 개선용 진상용 콘덴서 뱅크를 가변구조로 설계하여 능동필터의 전력분담을 낮추었다. 역률 개선용 콘덴서 뱅크, 수동필터 및 능동필터가 결합된 300kVA급 복합형 능동필터를 설계, 제작하였으며 실험결과를 통해 성능을 분석하였다. 제안된 복합형 전력필터는 능동필터의 전력분담을 줄여, 제작비용과 운전비용이 저렴하므로 산업현장에 폭 넓게 사용되리라 예상된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (R01-2002-000-00497-0) 지원으로 수행되었음

## 참 고 문 헌

- [1] S. Bhattacharya, T.M. Frank, D.M. Divan, and B. Banerjee, "Active Filter System Implementation", *IEEE Ind. Applicat. Mag.*, vol. 4, pp. 47-63, Sept./Oct. 1998.
- [2] L. Benchaïta, S. Saadate, and A. Salemnia, "A Comparison of Voltage Source and Current Source Shunt Active Filter by Simulation and Experimentation", *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 14, pp. 642-647, May 1999.
- [3] J. Hafner, M. Aredes, and K. Heumann, "A Shunt Active Power Filter Applied to High Voltage Distribution Lines", *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 12, no. 1, pp. 266-272, Jan. 1997.
- [4] H. Fujita and H. Akagi, "A Practical Approach to Harmonic Compensation in Power Systems - Series Connection of Passive and Active Filters", *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 27, no. 6, pp. 1020-1025, Nov./Dec. 1991.
- [5] S. Bhattacharya, P.T. Cheng, and D.M. Divan, "Hybrid Solutions for Improving Passive Filter Performance in High Power Applications", *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 33, pp. 732-747, May/June 1997.
- [6] P.T. Cheng, S. Bhattacharya, and D.M. Divan, "Control of Square-Wave Inverters in High-Power Hybrid Active Filter Systems", *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 34, pp. 458-472, May/June 1998.
- [7] F.Z. Peng, "Harmonic Sources and Filtering Approaches", *IEEE Ind. Applicat. Mag.*, vol. 7, pp. 18-25, July/Aug. 2001.
- [8] F.Z. Peng, "Application Issues of Active Power Filters", *IEEE Ind. Applicat. Mag.*, vol. 4, pp. 21-30, Sept./Oct. 1998.
- [9] B.N. Singh, B. Singh, A. Chandra, and K. Al-Haddad, "Digital Implementation of a New Type of Hybrid Filter with Simplified Control Strategy", in *Proc. IEEE APEC'99*, vol. 1, pp. 642 - 648, 1999.

## 저 자 소 개



### 한 성 룡 (韓 聖 龍)

1959년 6월 26일생. 1993년 연세대학교 산업대학원 전자공학과 졸업(석사). 2002년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1983년~1990년 (주)LG전자 AUDIO근무. 현재 한국산업기술평가원 수석연구원.  
E-mail: srhahn@mail.itep.re.kr



### 김 수 곤 (金 秀 坤)

1970년 3월 4일생. 1995년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1997년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년~1999년 LG 산전 근무. 현재 숭실대학교 대학원 전기공학과 박사과정.  
E-mail: amoona@chol.com



### 석 원 엽 (石 元 燁)

1956년 11월 26일생, 1992년 숭실대학교 산업대학원 전기공학과 졸업(석사), 2001년 숭실대학교 대학원 박사과정 수료, 1995년~현재 인천기능대학 부교수  
E-mail: wyseok@kopo.or.kr



### 조 정 구 (趙 貞 九)

1963년 4월 21일생. 1986년 경북대학교 전자공학과 졸업. 1988년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(석사), 1992년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사). 1992년~1993년 KAIST 정보전자연구소 연구원. 1993년 9월~1994년 8월 Virginia Polytechnic Institute & State Univ. 객원 연구원. 1994년~2002년 한국전기연구원 선임연구원. 1998년~현재 (주)그린파워 대표.  
E-mail: lightnsalt@korea.com



### 송 의 호 (宋 義 鎬)

1962년 11월 23일생. 1988년 부산대학교 전자공학과 졸업. 1990년 포항공대 전기전자공학과 졸업(석사). 1993년 포항공대 전기전자공학과 졸업(공학박사). 1993년~1996년 삼성전기(주) 선임연구원. 1996년~현재 창원대학교 공과대학 제어계측공학과 부교수.  
E-mail: ehsong@sarim.changwon.ac.kr



### 전 희 증 (田 喜 鐘)

1953년 1월 6일생. 1975년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1977년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1977년~1981.8. 공군사관학교 전자공학과 교수부. 1987년 중앙대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1995년 9월~1996년 4월 Univ. of Victoria, CA. 객원교수. 1983년~현재 숭실대학교 공과대학 전기공학과 교수. E-mail: hjjeon@ssu.ac.kr