

## 비선형 부하를 위한 복합전력필터

강민수, 노윤성, 김수곤, 전희중  
승실대학교

### Hybrid Active Filter System for High Power Non-linear Loads

Min-Su Kang, Youn-Sung Rho, Soo-Gon Kim, Hee-Jong, Jeon  
Soong-Sil Univ.

#### ABSTRACT

Proposed Hybrid System is composed of phase leading capacitor banks, LC passive filters and active power filter. The passive power filter in parallel connection eliminate the 5th and 7th harmonics. The Variable capacitor banks correct the most of power factor, and the active power filter takes charge of remainder.

#### 1. 서 론

현재 산업이 고도로 발달함에 따라 전기에너지의 이용률이 지속적으로 늘어나고 있으며 사용형태에 있어서도 전력변환장치를 통해 가공하여 사용하는 경우가 거의 대부분을 차지하고 있다. 특히 스위칭 방식에 의한 전력변환장치를 사용하면 고조파가 발생하고 역률저하, 전압의 왜형 그리고 불평형이 발생하는 등의 많은 문제들을 야기 시킨다. 이러한 문제들을 해결하기 위해서 70년대까지는 전통적으로 수동필터가 고려되어왔고 이 후 80년대 후반부터 디지털 기술의 발달로 능동필터가 각광을 받고 있다. 수동필터는 저가에 신뢰성이 높은 장점이 있는 반면 공진 주파수를 정확히 고조파 차수에 맞추기 어렵고, 전원 임피던스와의 공진현상이 야기되며 더욱이 역률보상 목적으로는 사용할 수 없다. 능동필터는 전원에서 부하로 유입되는 전류에 포함된 고조파를 상용전원 대신 부하에 공급한다. 즉 상용 전류는 부하전류의 기본파 성분만을 공급하고 능동 전력필터는 부하전류의 고조파 성분만을 공급한다 그리고 모든 차수의 고조파를 제거 할 수 있을 뿐만 아니라 역률까지도 보상이 가능하다. 그러나 역률 보상을 하게 되면 기본파 성분이 능동필터로 주입되어 능동필터의 용량이 커지고 가격이 상승하여 아직까지 보편화되지 못하고 있다. 논문에서는 수

동필터와 능동필터를 결합하고 진상용 커패시터를 달아 고조파 필터링 능력과 역률보상도 가능한 방식의 복합형 전력필터를 제안하였다<sup>[1][3]</sup>.

#### 2. 본 론

##### 2.1 시스템 구성

복합형 전력필터 시스템은 그림1과 같이 구성된다. 부하로는 고조파 발생 및 역률을 저하시키는 사이리스터 컨버터를, 수동필터는 LC공진필터로 구성되며 고조파의 주성분인 5차와 7차를 제거할 수 있도록 하였다. 진상용 커패시터를 달아 기본파 전류의 역률보상이 이루어지고 잔여 고조파와 역률보상을 위한 능동필터는 시스템의 진단부에 연결하여 나머지 무효전력과 고조파 성분을 제거하는데 이용되어진다.

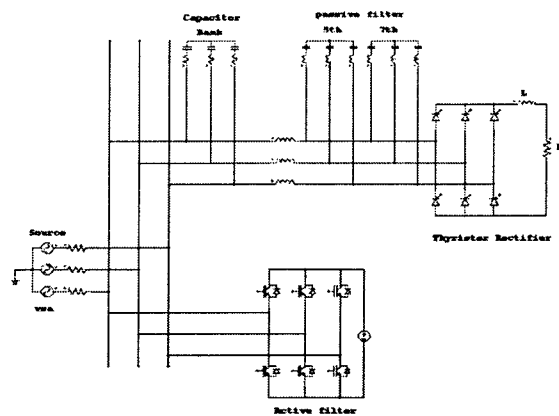


그림 .1 복합형 전력필터의 구성도  
Fig.1 System Configuration of hybrid filter

##### 2.2 제어기법

복합필터의 제어 구성도를 그림 2에 나타내었다. 능동필터를 제어하기 위한 기본 제어개념을 설명하

기 위해서 순시전력 제어이론을 도입한다. 전원 전압  $v_s$ 의 a상과 b상으로부터 고정 좌표계의  $\alpha$ - $\beta$ 축 성분은 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} v_{sa} \\ v_{sb} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{sa} \\ v_{sb} \\ v_{sc} \end{bmatrix} \quad (1)$$

수동필터에 흐르는 전류는  $i_{pb}$  및  $i_{pf}$ 과 비선형 부하에 흐르는 전류  $i_o$ 를 합친 전류  $i_L$ 의  $\alpha$ - $\beta$ 축 성분은 식 (2)와 같다.

$$\begin{bmatrix} i_{La} \\ i_{Lb} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{La} \\ i_{Lb} \\ i_{Lc} \end{bmatrix} \quad (2)$$

순시 전력제어이론에 근거하여 부하에 흐르는 순시전력은 식 (3)을 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  $\overline{p_L}$ ,  $\overline{q_L}$ 과 교류성분  $\tilde{p_L}$ ,  $\tilde{q_L}$ 로 나뉘어진다. 직류성분은 기본파 전류를 말하며 교류성분은 고조파 전류를 나타낸다. 제한한 복합형 전력 필터는 고조파 제거를 위해 교류성분인  $\tilde{p_L}$ 과  $\tilde{q_L}$ 을 제거하고 역률보상을 위해 직류성분인  $\overline{q_L}$ 도 제거해야 한다.

DC 링크전압의 제어는 직류이므로 능동필터의 교류단에서 유효전력을 제어해야 한다. 따라서 DC 링크 전압의 제어성분과 부하에 흐르는 유효전력의 교류성분  $\tilde{p_L}$ 과 합쳐 능동필터에서 보상해야 하는 유효전력  $p_c$ 를 구성한다. 가변 커패시터는 부하에서 요구되는 무효전력과 커패시터 뱅크에서 선택될 수 있는 무효전력의 차를 최소화 시키는 방법으로 식 (4)에 의해 선택 되어진다.

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

부하에서 요구하는 무효전력과 커패시터 뱅크에

서 분담하는 무효전력의 차는 능동필터에서 보상해 주어야 한다. 능동필터가 보상해야 할 전력이 결정 되면  $\alpha$ - $\beta$ 축 성분의 전류 지령치를 식 (5)에 의해 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 전류 지령치는 식 (6)과 같이 계산된다. 계산된 전류 지령치는 펄스폭변조 전류 제어기를 통해 능동필터의 전류를 제어한다.

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

커패시터 뱅크의 스위치는 양방향 사이리스터에 의해 구현되며 각 상의 전압이 0[V]가 될 때 켜지게 되어 돌입전류를 방지한다.

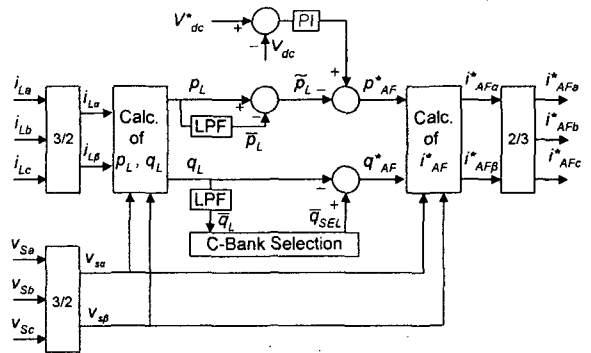


그림 2 복합형 전력필터의 제어 구성도  
Fig. 2 Control scheme of the hybrid power filter

### 2.3 시뮬레이션

복합 전력필터 전체 시스템을 시뮬레이션을 통해서 가능성여부를 검토 하였다. 모의실험을 위해 표1의 파라미터와 그림 3의 시뮬레이션 도를 사용하였다. 모의실험은 수동필터만 부착 시, 수동필터·능동필터를 함께 부착 시, 그리고 수동필터·능동필터·진상커패시터를 동시에 부착 시 고조파 제거 및 역률보상 여부를 확인하고 각각의 경우 필터의 전류를 확인하였다

표 1 시뮬레이션에 사용된 파라미터  
Table 1 Parameters used in simulation

입력전압	3 $\phi$ 3W 380[V]
진상 커패시터(C)	100 [kvar]
직렬 인덕터 ( $L_S$ )	300[ $\mu$ H]
5차 수동필터	$L_5=2.23$ [mH], $C_5=120$ [ $\mu$ F]
7차 수동필터	$L_7=1.43$ [mH], $C_7=89$ [ $\mu$ F]
능동필터 연계인덕터 ( $L_{AF}$ )	500[ $\mu$ H]
능동필터 스위칭 주파수(f)	18[kHz]
사이리스터 부하단 인덕터( $L_0$ )	5[mH]
사이리스터 부하단 저항 ( $R_0$ )	1[ $\Omega$ ]

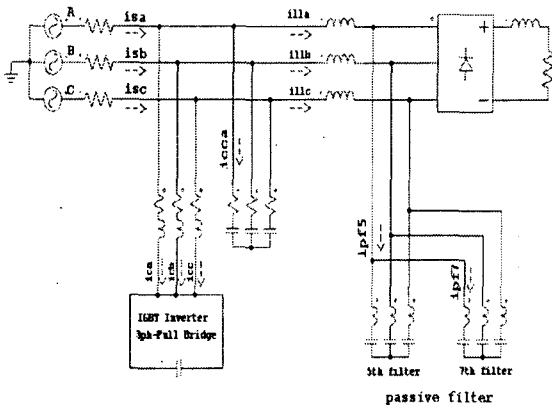
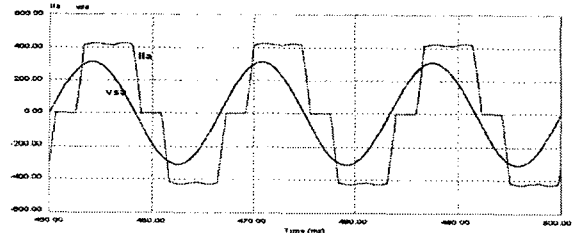
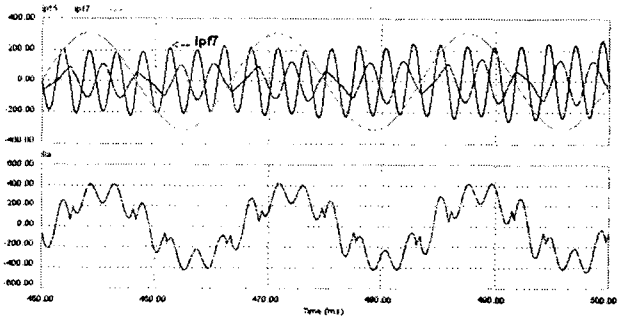


그림 3 시뮬레이션 도  
Fig 3 Simulation Diagram

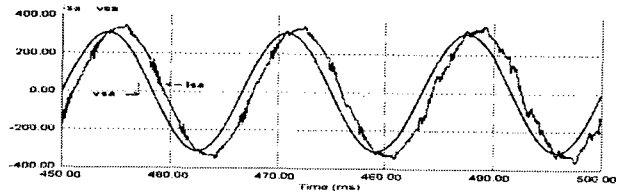
그림 4는 시뮬레이션 결과파형이다. 수동필터만 부착 하였을 경우 보상전류는 100[A]가 되며 정현 파에 근접하게 보상되었다. 하지만 11차 이상의 고조파는 보상이 되지 않고 남아있다. 수동필터와 능동필터를 결합 하였을 때 수동필터가 처리하지 못한 11차 이상의 잔여 고조파와 무효전력을 보상하고 능동필터로 흐르는 기본파 보상전류가 200[A]정도로 상당히 크기 때문에 능동필터의 용량은 130[kVA]정도가 된다. 진상커패시터를 추가한 경우 사이리스터의 점호각을 조절하여 무효전력을 인가하면 부하의 무효전력이 진상용 커패시터에 의해 보상이 됨을 알 수 있다.



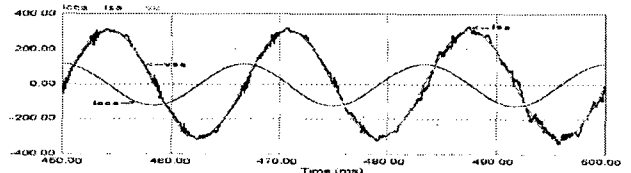
(a) 전원전압과 부하전류



(b) 수동필터만 부착 시 보상된 입력전류



(c) 수동필터와 능동필터 부착 시 보상된 입력전류



(d) 수동필터, 능동필터, 진상커패시터 부착시 보상된 입력전류와 진상 커패시터 전류

그림. 4 시뮬레이션 결과 파형  
Fig. 4 Results of Simulation

### 3. 결 론

본 논문에서는 비선형 사이리스터 정류부하에 병렬형 능동필터와 병렬형 수동필터 그리고 진상용 커패시터로 구성된 복합형 전력필터를 제안 하였다. 수동필터에 의해 제거된 나머지 고조파는 능동필터에서 제거되었고 진상용 커패시터가 무효전력을 보상하였다. 이상의 결과를 종합하여 불 때 복합전력필터가 고조파 제거 및 무효 전력 성분을 보상하여 시스템의 역할을 개선하였음을 알 수 있었다.

이 논문은 한국과학재단 목적기초연구(R01-2002-000-00497-0)지원으로 수행되었습

### 참 고 문 헌

- [1] Malesani L, Rossetto L. [V]nd Tenti P., "Active filter for reactive power and Harmonics", IEEE '86 Conf. Record, pp. 321-330, 1986.
- [2] M. Takeda, K. iKeda, Y. Tominaga, and K. Oku, "Harmonic current compensation with active filers", in Proc. IEEE/IAS Annu. Meeting, p. 808, 1987.
- [3] J.van Wyk, " power quality power electronics and control", Vol. 1, pp. 17-32, 1993.