

## 순시전압 sag 및 고조파 전류 보상을 위한 공간벡터 검출법 기반의 3상 하이브리드 직렬형 능동전력필터

梁承煥\*, 鄭榮國†, 任永徹\*\*

The Space Vector Detection based Three-Phase Hybrid Series Active Power Filter for Compensating Dynamic Voltage Sag and Harmonic Current

Seung-Hwan Yang, Young-Gook Jung, and Young-Cheol Lim

### 요 약

본 연구에서는 순시전압 sag 및 고조파 전류 보상을 위한 공간벡터 검출법을 기반으로 한 3상 하이브리드 직렬형 능동전력필터 시스템을 제안하고 있다. 순시전압 sag 및 고조파 전류를 검출하기 위한 공간벡터 검출법은 종전의 이론에 비해 곱셈 연산 과정을 감소할 수 있고 좌표 변환이 필요치 않기 때문에 간략화된 보상 알고리즘 구현이 가능하다. 본 연구의 타당성은 전력전자전용 시뮬레이터 PSIM에 의해 정상상태와 과도상태에서 입증하였다. 그 결과 3상 교류 전원 모두에 순간적인 전압 sag가 발생되거나, 임의의 상에 왜형 및 sag가 있는 경우, 전압 보상 및 고조파 전류 보상이 모두 가능함을 입증하였다.

### ABSTRACT

In this paper, for compensating dynamic voltage sag and harmonic current, 3-phase hybrid series active power filter based on the space vector detection is proposed. The Space vector algorithm for detecting the voltage sag and the harmonic current in compared with conventional theory is a simple method for calculating the compensating reference without any coordinated transformation. The effectiveness of the proposed system is verified by the PSIM simulation in the steady state and the transient state, which the proposed system is able to simultaneously compensate harmonics and source voltage unbalance / sag.

**Key Words** : 3-Phase Hybrid Series Active Power filter, Space Vector Detection, Dynamic Voltage Sag and Harmonic Current.

### 1. 서 론

최근 컴퓨터를 이용한 산업전자 제어장비와 정보기

기 그리고 디지털 기기와 같은 비선형 부하에 대한 수요가 증가되고 있다. 이들 비선형 부하는 전원전압의 왜형과 불평형 그리고 고조파 전류에 대해 매우 민감한 동작 특성을 갖고 있으며, 동시에 관련 계통에 고조파 및 전압 왜형의 발생원이 되기도 한다<sup>[1]</sup>.

전력 품질을 저하시키는 요인으로는 비선형 부하에서 전원 측으로 발생하는 고조파와 전원전압의 왜형 그리고 순간적인 변동으로 구분할 수 있다. 비선형 부

\*교신저자 : 정회원, 대불대 컴퓨터정보공학부 조교수

E-mail : jyg@mail.daebul.ac.kr

†정회원, 현대주택관리(주) 전기안전관리사업부 부장

\*\*정회원, 전남대 전기공학과 교수

접수일자 : 2003. 6. 5                    1차 심사 : 2003. 10. 22

2차 심사 : 2004. 1. 9                    3차 심사 : 2004. 4. 8

심사완료 : 2004. 4. 21

하의 고조파 문제는 일반적으로 능동전력필터 시스템<sup>[1]</sup>에 의하여 보상 가능하고, 전원전압의 왜형과 전압변동은 무정전 전원장치(UPS)<sup>[2]</sup> 또는 직렬형 능동전력필터<sup>[3]</sup>로 해결하고 있다. 이상의 고조파와 전원 전압강하 보상의 문제는 대부분 별개로 인식되어져 왔고 그 해결 방안 역시 각기 별도의 보상 장치<sup>[4]</sup>에 의하여 수행되어져 왔다. 이는 보상 장치의 활용도 저하와 비용 증가를 발생시키는 원인이 되고 있다. 한편 UPQC (Unified Power Quality Conditioner)<sup>[2]</sup>는 고조파와 전압변동 등의 문제점을 모두 해결할 수 있으나 직류단을 공유하고 있는 직렬형 능동전력필터의 제어 알고리즘을 각기 달리해야 하며 제어가 복잡하게 된다.

최근의 전력품질 문제는 적절한 보상 알고리즘에 의해 1대의 전력전자 변환기로 전원전압 변동과 전류 고조파를 종합적으로 해결하여 변환기의 사용률을 극대화해야 하는데 주안점이 있다<sup>[5,6]</sup>. 순시전력이론<sup>[1]</sup>, 동기좌표계 이론<sup>[7]</sup>은 이를 위한 보상 알고리즘으로 유력시되고 있다. 특히 이들 보상 알고리즘<sup>[8-10]</sup> 기반의 공간벡터 검출법<sup>[11,12]</sup>은 고조파 보상 기준치의 연산과정을 간략화할 수 있으며, 3상 3선식 병렬형 능동전력필터에 적용할 수 있다. 이 방법은 좌표변환이 필요치 않고, 곱셈 연산 과정을 감소할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구에서는 3상 3선식 병렬형 능동전력필터를 위해 제시된 공간벡터 검출법<sup>[11-12]</sup>을 3상 하이브리드 직렬형 능동전력필터 시스템에 직접 적용하여 순시전압 sag와 고조파 전류를 보상하는 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템의 유용성을 입증하기 위하여 전력전자계통 해석에 유용한 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 하였다. 그 결과, 공간벡터 검출법 기반의 3상 하이브리드 직렬형 능동전력필터는 3상 전원 전압의 순간적인 sag와 임의의 상에 왜형과 sag가 발생되더라도, 부하 전압을 일정하게 제어하였으며, 고조파 전류도 동시에 보상 가능하였다.

## 2. 이 론

### 2.1 보상 시스템의 동작 원리

그림 1은 전원과 비선형 부하사이에 병렬로 접속된 수동필터와 직렬로 연결된 능동전력필터의 구성도를 나타내고 있다. 직렬형 능동전력필터는 고조파 전류를 저지하여 계통과의 절연과 전원 전압의 변동분을 보상하여 부하단의 전압을 일정하게 유지시켜준다. 또한 5고조파, 7고조파 그리고 고역통과 수동필터(HPF)는 저임피던스 회로로 동작하여 부하 고조파 전류를 흡수하

고 있다.

그림 2는 전원전압 벡터와 부하전압 벡터를 각각  $E_s$  및  $E_L$  그리고 전원전압의 변동분을  $E_x$ 라 할 때, 그림 1로 나타낸 보상기에 의해서  $E_x$ 와 전원전류 벡터  $I_s$ 의 고조파 성분을 보상하는 과정을 설명하고 있는 벡터도이다.  $E_s$ 에 전압강하가 발생되면,  $E_L$ 은 전압강하  $E_x$ 가 발생되기 전의  $E_s$  보다 크기가 작아진다.  $E_x$ 와 크기가 같고 방향이 반대인 보상전압  $E_c$ 를 보상기가 발생하면, 그림 2에서 보는 바와 같이  $E_x$ 를  $E_c$ 가 상쇄하며 따라서  $E_L$ 은 전압강하 발생 전의  $E_s$ 과 같게 된다.

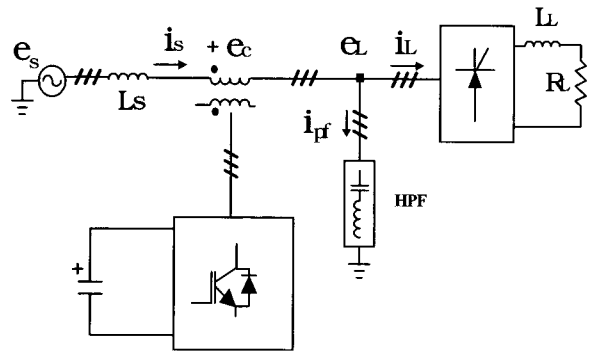


그림 1 하이브리드 직렬형 능동전력필터 시스템  
Fig. 1 Hybrid series active power filter system

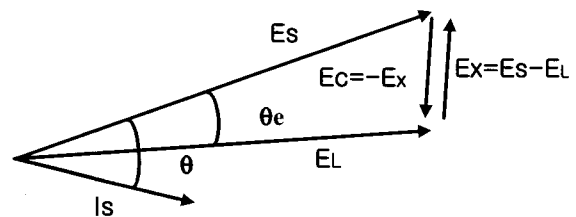


그림 2 보상과정을 나타내고 있는 전압/전류 벡터도  
Fig. 2 voltage and current vector diagram for compensation process

### 2.2 공간벡터 검출법에 의한 보상전압 기준치 연산

$e_a, e_b, e_c$ 와  $i_a, i_b, i_c$ 이 각각 3상 3선 전원 전압과 전류라 할 때, x-y-z축 상의 단위벡터(unit vector)  $\vec{a}_x, \vec{a}_y, \vec{a}_z$ 에 의하여 3차원 공간상에서 (1)과 (2)로 나타내진다.

$$\vec{e} = e_a \vec{a}_x + e_b \vec{a}_y + e_c \vec{a}_z \quad (1)$$

$$\vec{i} = i_a \vec{a}_x + i_b \vec{a}_y + i_c \vec{a}_z \quad (2)$$

순시전압 벡터  $\vec{e}$ 와 순시전류 벡터  $\vec{i}$ 사이의 각도를  $\theta$ 라 할 때, 이들의 스칼라 곱은 3상 순시 유효전력이며, 벡터 곱은 3상 순시 무효전력 벡터가 된다.

$$p = \vec{e} \cdot \vec{i} = e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c \quad (3)$$

$$\vec{q} = \vec{e} \times \vec{i} \quad (4)$$

$$= (e_b i_c - e_c i_b) \vec{a}_x + (e_c i_a - e_a i_c) \vec{a}_y + (e_a i_b - e_b i_a) \vec{a}_z \quad (5)$$

그림 3에서 보는 바와 같이  $\vec{q}$ 는  $e-i$ 평면과 직각이며,  $\vec{i}$  벡터는 다음과 같이  $\vec{i}_p$ 와  $\vec{i}_q$  2성분의 합이다.

$$\vec{i} = \vec{i}_p + \vec{i}_q \quad (6)$$

여기서  $\vec{i}_p$ 는  $\vec{e}$ 벡터와 평행인 순시 유효전류 벡터이며,  $\vec{i}_q$ 는  $\vec{e}$ 벡터와 직각인 순시 무효전류 벡터이다.

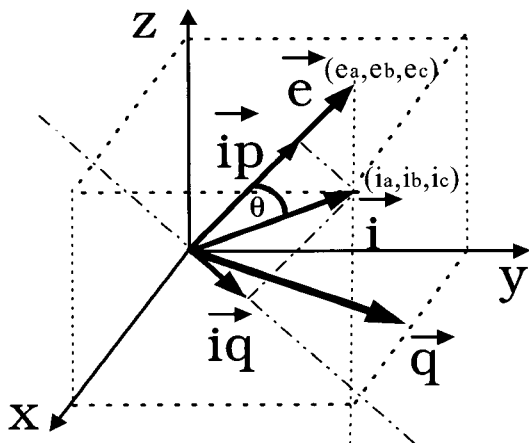


그림 3  $\vec{e}$ 과  $\vec{i}$ 의 공간 벡터적인 표현  
Fig. 3 Space vector representation of  $\vec{e}$  and  $\vec{i}$

전압벡터  $\vec{e}$ 와 유효전류 벡터  $\vec{i}_p$ 로 나타낸 3상 순시 유효전력은 다음과 같다.

$$p = \vec{e} \cdot \vec{i} = \vec{e} \cdot (\vec{i}_p + \vec{i}_q) = \vec{e} \cdot \vec{i}_p \quad (7)$$

$$= |\vec{e}| |\vec{i}_p| \cos 0^\circ = |\vec{e}| |\vec{i}_p| \quad (8)$$

$$|\vec{i}_p| = \frac{\pm p}{|\vec{e}|} = \frac{\pm p |\vec{e}|}{|\vec{e}| |\vec{e}|} = \frac{\pm p |\vec{e}|}{\vec{e} \cdot \vec{e}} \quad (9)$$

여기서 전압벡터  $\vec{e}$ 와 유효전류 벡터  $\vec{i}_p$ 가 동일한 방향인 경우는 “+”이며, 서로 반대인 경우는 “-”로 나타낸다. (9)로부터 유효전류 벡터  $\vec{i}_p$ 는 (10)과 같이 표현된다.

$$\vec{i}_p = \frac{\vec{p} \vec{e}}{\vec{e} \cdot \vec{e}} \quad (10)$$

(3)과 (4)의 p와 q는 다음과 같이 직류(기본파)성분  $\bar{p}$ ,  $\bar{q}$ 와 교류(외형)성분  $\tilde{p}$ ,  $\tilde{q}$ 로 구성되어 있으며

$$\begin{aligned} p &= \bar{p} + \tilde{p} \\ q &= \bar{q} + \tilde{q} \end{aligned} \quad (11)$$

이로부터 순시 기본파 유효전류 벡터는 다음과 같이 된다.

$$\vec{i}_p = \frac{\bar{p} \vec{e}}{\vec{e} \cdot \vec{e}} \quad (12)$$

결국 순시 보상전류 벡터  $\vec{i}_h$ 는 다음 식과 같게 된다.

$$\vec{i}_h = \vec{i} - \vec{i}_p \quad (13)$$

$$= \vec{i} - \frac{\bar{p}(e_a \vec{a}_x + e_b \vec{a}_y + e_c \vec{a}_z)}{e_a^2 + e_b^2 + e_c^2} \quad (14)$$

3상 3선 시스템의 경우,  $e_a + e_b + e_c = 0$ 이며 보상전류는 다음과 같이 표현된다.

$$i_{ha} = i_a - \frac{\bar{p} e_a}{2[(e_a + e_b)^2 - e_a e_b]} \quad (15)$$

$$i_{hb} = i_b - \frac{\bar{p} e_b}{2[(e_a + e_b)^2 - e_a e_b]} \quad (16)$$

$$i_{ch} = -(i_{ha} + i_{hb}) \quad (17)$$

그림 1의 3상 전원전압  $e_{s(abc)}$ 과 3상 전원전류  $i_{s(abc)}$ 로 부터 연산된 보상기준전류  $i_h(abc)$ 는 (15)-(17)에 의해 보상전압 기준치  $e_h(abc)$ 의 형태로 변환된다.

$$e_h(abc) = K_h i_h(abc) \quad (18)$$

또한 3상 전원전압  $e_{s(abc)}$ 의 변동에 따른 부하전압  $e_{L(abc)}$ 의 변동분  $\Delta e_{L(abc)}$ 은 기준부하전압  $e_{L(abc)*}$ 과 검출된 부하전압  $e_{L(abc)}$ 과의 차와 같다.

$$\Delta e_{L(abc)} = e_{L(abc)*} - e_{L(abc)} \quad (19)$$

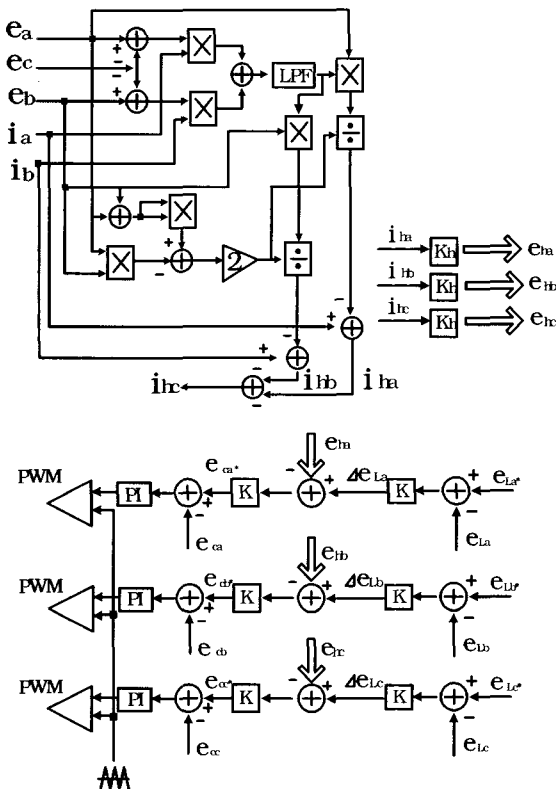


그림 4 제안된 시스템의 제어 알고리즘  
Fig. 4 Control algorithm of the proposed system

결국  $\Delta e_{L(abc)}$ 와  $e_h(abc)$ 를 직렬형 능동전력필터가 일괄 보상하기 위한 최종적인 보상전압 기준치는 (20)과 같게 된다.

$$e_{c(abc)*} = k(\Delta e_{L(abc)} - e_h(abc)) \quad (20)$$

여기서 하이브리드 직렬형 능동전력필터의 성능은  $i_h(abc)$  및  $\Delta e_{L(abc)}$ 의 정확한 검출과 실시간적인 보상에 있다. 공간벡터 검출법을 적용하여  $\Delta e_{L(abc)}$ 와  $i_h(abc)$ 를 동시에 보상하기 위한 제어 구성도를 그림 4에 나타내었다.

### 2.3 Moving average 저역통과필터

식 (11)과 (15)-(17)의  $\bar{p}$ 을 실시간적으로 정확하게 검출한다는 것은 매우 중요하며, 이는 전체 시스템의 보상성능과 과도보상 특성에 영향을 미치게 된다.  $\bar{p}$ 를 구하기 위해 일반적으로 사용하는 버티워쓰 1차 저역통과필터 LPF<sup>[1]</sup>는 이러한 조건을 일반적으로 만족하지 못한다. 지금까지  $\bar{p}$ 의 추출방법으로는 moving average LPF<sup>[13]</sup>가 과도상태에서 가장 성능이 뛰어난 것으로 보고되어져 있다. 본 연구에서는 moving average LPF에 의하여  $\bar{p}$ 를 추출하고 있으며 moving average LPF를 구현하기 위한 식과 블록선도를 (21)과 그림 5에 각각 나타내었다.

$$\text{Moving average } \bar{p} = \frac{6}{T} \int_{t-\frac{T}{6}}^t p dt \quad (21)$$

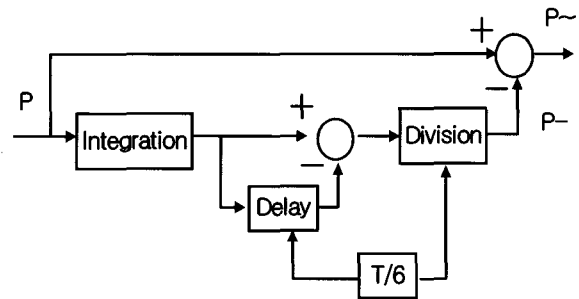


그림 5  $\bar{p}$ 를 연산하기 위한 moving average 저역통과필터  
Fig. 5 Moving average LPF for calculating  $\bar{p}$

### 3. 시스템 구성

본 연구에서 사용된 3상 하이브리드 직렬형 능동전력필터의 3상 전력회로 구성도는 그림 6과 같다. 본 시스템은 그림 1에서 이미 설명한 바와 같이, 전원전압  $e_{s(abc)}$ 의 변동에 따른 부하전압  $e_{L(abc)}$ 의 변동분

$\Delta e_{L(abc)}$ 과  $i_s$ 의 고조파를 보상하기 위한 병렬형 수동 필터와 직렬형 능동전력필터로 구성된다. PWM변조를 위해서는 10KHz 삼각파 비교방식을 이용하였다. 직렬형 능동전력필터의 직류단 캐패시터는 시뮬레이션을 위하여 직류 정전압원으로 하였으며, 비선형 부하는 전류형 싸이리스터 제어 정류기를 사용하였다.

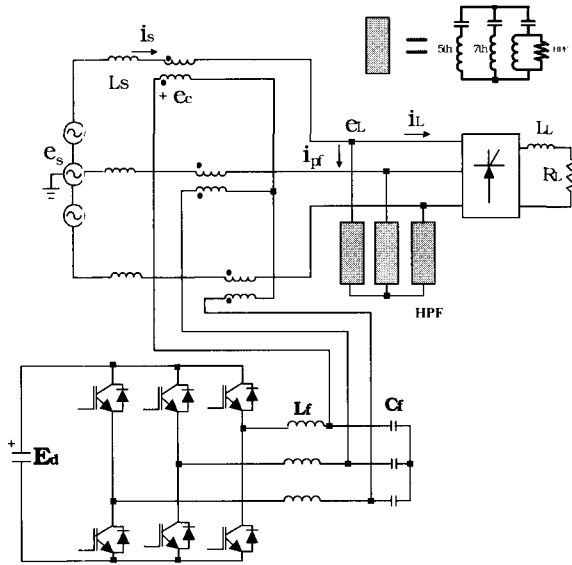


그림 6 3상 하이브리드 직렬형 능동전력필터의 전력회로  
Fig. 6 Power circuit configuration of 3 phase hybrid series active power filter

직렬형 능동전력필터는 교류 전원과 비선형 부하 사이에 3개로 구성된 이상 결합 변압기로 계통에 직렬로 연결되어 있으며, 직렬형 능동전력필터의 출력단에는 PWM 스위칭 성분을 감소시키기 위한 LC필터를 부착하였다. 3상 전원전압의 순간적인 sag와 왜형은 3상 220v 전원전압  $e_s$ 의 abc상을 기준으로, 각 상에 독립적으로 sag와 왜형을 발생할 수 있는 전원을 병렬로 연결하여 발생시켰다. 발생 시점의 온 오프는 전력전자 전용 시뮬레이터인 PSIM에서 제공하는 타이머와 릴레이를 이용하였다.

3상 전원단의 사고(fault)는 3상 평형 220v전원이 ① 모두 150v로 30%의 전압 sag가 발생하는 경우 ②임의의 한 상만 150v로 전압 sag가 발생한 경우 ③임의의 두 상이 각각 90v와 160v로 전압sag가 발생한 경우 ④임의의 두 상에 왜형과 전압 sag가 동시에 발생된 4가지 경우로 나누어 시뮬레이션 테스트하였다.

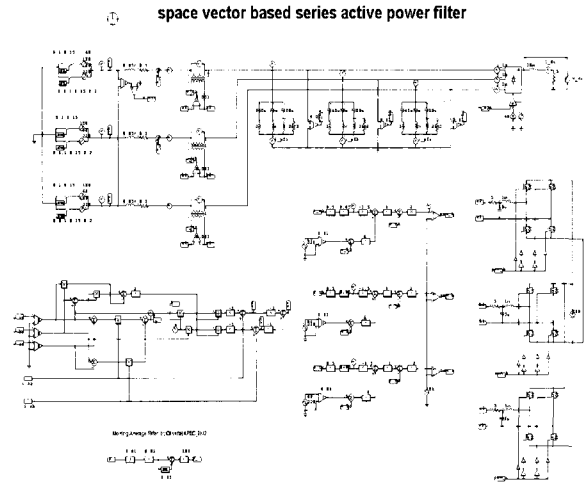


그림 7 PSIM 시뮬레이션 모델  
Fig. 7 PSIM simulation model

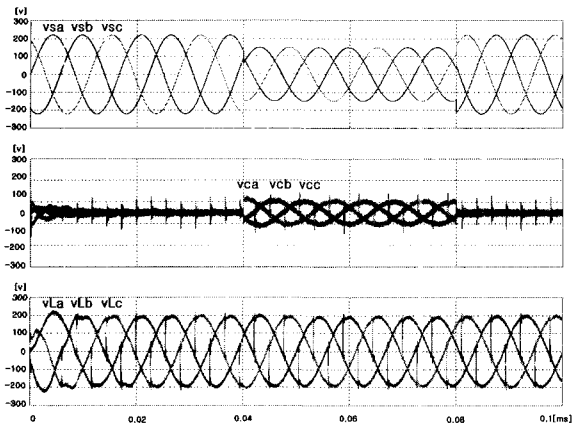
표 1 시스템 파라미터  
Table 1 System Parameters

Source voltage/current	220V/60Hz,40A	
Source impedance	$R_s=0.5\Omega$ $L_s=0.05mH$	
Passive filter	5th	$C=140\mu F$ $L=2mH$
	7th	$C=70\mu F$ $L=2mH$
	HPF	$C=300\mu F$ $L=0.26mH$ $R=3\Omega$
L-C filter	$R_f=0.5\Omega$ $L_f=1mH$ $C_f=10\mu F$	
d.c voltage	$E_d=600V$	
Load impedance	$L_L=30mH$ $R_L=6\Omega$	
PWM frequency	10KHz	
$K_h$	4	

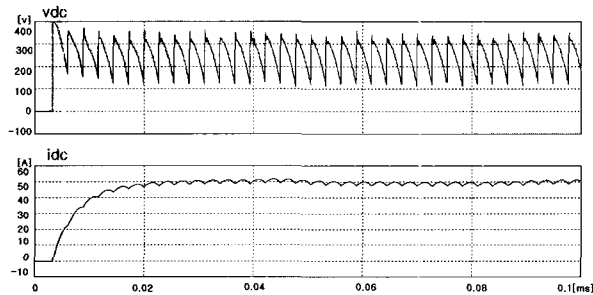
#### 4. 결과 및 고찰

그림 8은 3상 220v 전원전압  $e_s$ 의 abc상이 모두 150v로 30%의 전압 sag가 발생하는 경우, 제안된 보상 시스템에 의해서 30%의 전압 sag를 보상한 결과를 나타내고 있다. 우선 그림 8(a)는 교류 측의 보상 결과를 보여주는 것으로 전원 전압 sag에 상응하는 보상 전압  $e_c$ 를 보상이기 순간적으로 발생하고 있으며, 이  $e_c$ 가  $e_s$ 에 더해져서  $e_L$ 은 sag가 발생하기 전과 같이 일정하게 유지됨을 알 수 있다. 그림 8(b)는 전원전압 sag에 대한 보상 전 후의 싸이리스터 제어 비선형 부하의 직류측 변화를 보여주고 있다. 전압 sag가 발생

하더라도 보상기에 의하여  $e_L$ 이 일정하게 제어되고 있기 때문에  $e_{dc}$ 가 일정하며 따라서  $i_{dc}$  역시 일정한 값을 유지하고 있다.



(a)  $e_s, e_c$  and  $e_L$



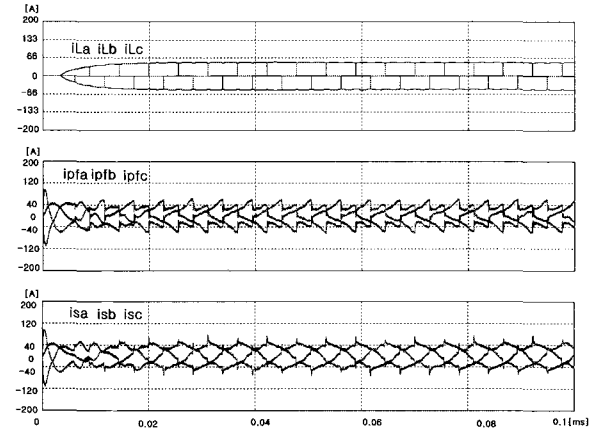
(b)  $e_{dc}$  and  $i_{dc}$

그림 8 3상 순시전압 sag가 발생한 경우, 전압 보상 결과  
Fig. 8 Results of voltage compensation in case when instantaneous 3 phase voltage sag occurred

$e_L$ 의 일정 제어는 곧 전원조건에 민감한 비선형 부하의 직류 전압  $e_{dc}$ 를 일정하게 유지함을 의미한다. 만약 부하가 디지털 계측 및 제어장비인 경우,  $e_{dc}$ 의 순간적인 저하는 장비의 오동작 또는 제어 불능 상태를 유발하며, 심지어는 생산라인이 재시동되어 경제적인 손실이 발생하기도 한다.

그림 8과 동일한 전원조건으로 전원 전류  $i_s$ 의 고조파 성분을 보상한 결과를 그림 9에 나타내었다. 그림 9에서 보는 바와 같이 고조파 성분이 보상된  $i_s$ 에는 스파이크 성분이 약간 존재하고 있다. 이는 그림 6에서 나타낸 수동필터의 R-L-C값이 정량적인 방법에 의해 선정되지 않았기 때문이며, 제안된 시스템의 성

능에 문제가 있는 것은 아니다. 향후, 수동필터의 정수값 설정에 대한 정량적인 방법이 동반된다면, 좀 더 양호한  $i_s$  파형이 얻어질 것이라 생각된다.



( $i_L, i_{pf}$  and  $i_s$ )

그림 9 3상 순시전압 sag가 발생한 경우, 전류 보상 결과  
Fig. 9 Results of current compensation in case when instantaneous 3 phase voltage sag occurred

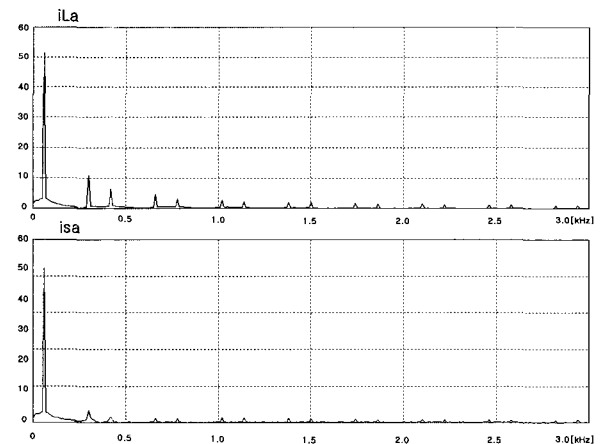


그림 10 a상  $i_L$ 과  $i_s$ 의 FFT 스펙트럼  
Fig. 10 FFT spectrum of a-phase  $i_L$  and  $i_s$

그림 10에는  $i_L$ 과  $i_s$ 의 FFT 분석 결과를 나타내고 있으며, 보상기가 동작한 후  $i_s$ 의 고조파는  $i_L$ 에 비하여 고조파가 많이 저감됨을 알 수 있다. 이상에서 살펴본 바와 같이 공간벡터 검출법 기반의 3상 하이브리드 직렬형 능동전력필터에 의하여 전원 단에 사고가 발생하더라도 부하에 일정한 정현파  $e_L$ 을 공급할 수

있으며, 동시에  $i_s$ 의 고조파 성분도 제거 할 수 있음이 입증되었다.

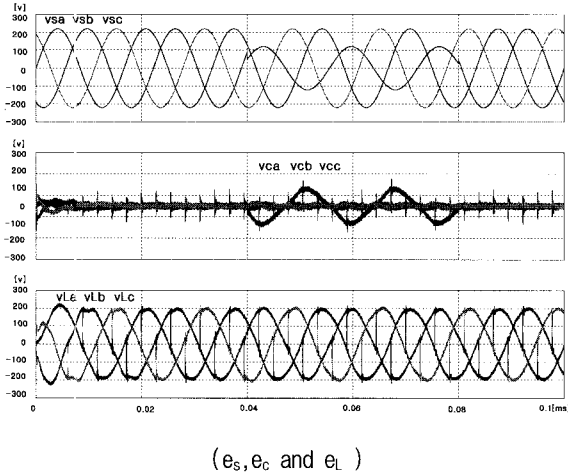


그림 11 b상 전압에 sag가 발생한 경우, 전압보상 결과  
Fig. 11 Result of voltage compensation in case when the instantaneous voltage sag occurred in b-phase

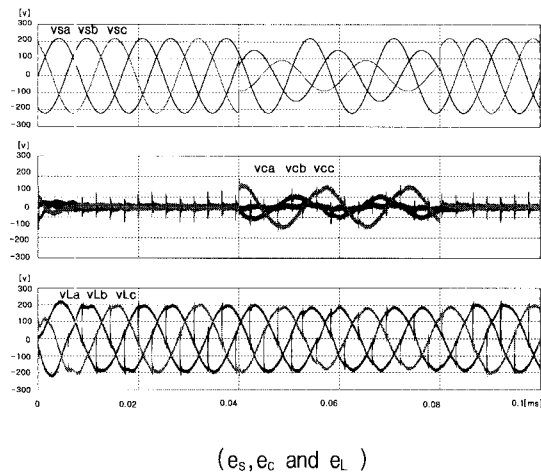


그림 12 b상과 c상 전압에 sag가 발생한 경우, 전압보상 결과  
Fig. 12 Result of voltage compensation in case when the instantaneous voltage sag occurred in b-phase and c-phase

그림 11과 그림 12는 b상에만 sag가 발생한 경우와 b상과 c상에 동시에 sag가 발생한 경우, 제안된 시스템에 의하여 sag전압을 보상한 결과이다. 그림 11과 그림 12를 살펴보면 전압 sag가 발생한 b상 또는 c상

에 보상은  $e_c$ 를 발생하고 있으며, 보상 결과는 3상이 모두 sag가 발생한 그림 8(a)와 동일하다. 그림 13은 b상과 c상에 왜형과 sag가 동시에 발생하는 경우의 보상 결과이다. 제안된 시스템은 왜형과 sag가 동시에 발생하는 동적인 순간에도 그 보상특성이 양호함을 알 수 있다.

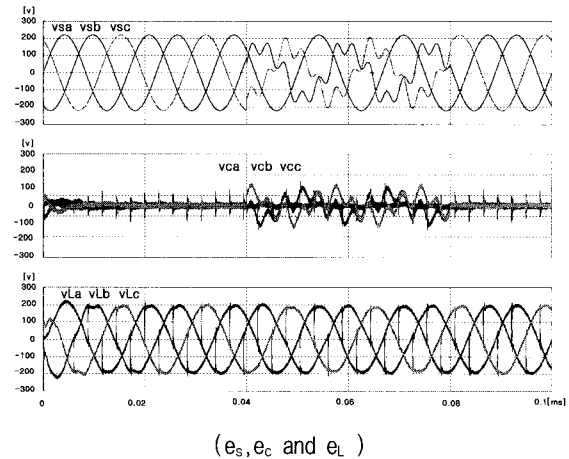


그림 13 b상과 c상 전압에 왜형과 sag가 발생한 경우, 전압보상 결과  
Fig. 13 Result of voltage compensation in case when the instantaneous voltage distortion and sag occurred in b-phase and c-phase

### 5. 결론

본 연구에서는 공간벡터 검출법 기반의 3상 하이브리드 직렬 능동전력필터에 대하여 고찰하고, 순시전압 sag 및 고조파 전류를 보상하는 기법을 제시하였다. 공간 벡터법은 종전의 방법에 비해 보상 기준치 연산 과정을 간략화 할 수 있고 좌표변환이 필요치 않다.

제안된 시스템에 의해 3상 또는 임의의 상에 전원전압이 순간적으로 왜형과 sag가 발생되더라도, 부하전압을 일정하게 제어하였으며 또한 전원전류의 고조파 성분도 동시에 보상 가능하였다. 향후 부하에 병렬로 연결된 수동필터의 정량적인 설계가 필요하며, 실험에 의하여 제안된 이론의 타당성을 입증하여야 할 것이라 생각된다.

본 연구는 한국과학재단 지정 전남대 고품질전기전자 부품 및 시스템 연구센터 연구비 지원에 의하여 연구된 결과의 일부임.

참 고 문 헌

[1] H. Akagi and H. Fujita, "Control Strategy of Active Power Filters using Multiple Voltage Source PWM Converter", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, Vol. 22, pp. 460~465, 1986.

[2] S. Silva and P. Cortizo, "A Three Phase Series Parallel Compensated Line Interactive UPS System with Sinusoidal Input Current and Sinusoidal Output Voltage", in *Conf. Rec. of IEEE IAS*, 1999, pp. 826~832.

[3] V. B. Bhavaraju, "Analysis and Design of Active Power Filter for Balancing Unbalanced Loads", *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 8, No. 4, pp. 640~647, 1993.

[4] G. Blajszczak, "Direct Method for Voltage Distortion Compensation in Power Networks by Series Converter Filter", *IEE Proc.-Electr. Power Appl.*, Vol. 142, No. 5, pp. 308~312, 1995.

[5] 김진선, 고수현, 김영석, "고조파 전류와 무효전력보상을 위한 직렬형 능동전력필터", *대한전기학회논문지* 52B, 5호, 2003, pp. 221~229.

[6] 이승요, 고재석, 목형수, 최규하, "3상 불평형 전원시스템의 새로운 위상각 검출기법을 이용한 순간전압보상기의 해석 및 제어", *전력전자학회논문지*, 제4권, 제3호, 1999, pp. 275~284.

[7] G. Joos, "Three Phase Static Series Voltage Regulator Control Algorithms for Dynamic Sag Compensation", in *Proc. IEEE ISIE*, 1999, pp. 515~520.

[8] F.Z. Peng and J.S. Lai, "Generalized Instantaneous Reactive Power Theory for Three-Phase Power System", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, Vol. 45, No. 1, pp. 293~297, 1996.

[9] F.Z. Peng, G.W. Ott and D.J. Adams, "Harmonic and Reactive Power Compensation Based on the Generalized Instantaneous Reactive Power Theory for Three-Phase Four-Wire Systems", *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 13, No. 6, pp. 1174~1181, 1998.

[10] C.C. Chen and Y.Y. Hsu, "A Novel Approach to the Design of a Shunt Active Filter for an Unbalanced Three-Phase Four-Wire System under Nonsinusoidal Conditions", *IEEE Trans. Power Delivery*, Vol. 15, No. 4, pp. 1258~1264, 2000.

[11] A. Nabae, H. Nakano and S. Togasawa, "An Instantaneous Distortion Current Compensator Without Any Coordinate Transformation", in *Proc. IPEC-Yokohama*, 1995, pp. 1651~1655.

[12] T. Mei, T. Jie and J. Jingping, "The Detection of Instantaneous Distorted Current with Three-Dimensional Space Vector", in *Proc. KIPE ICPE-Seoul*, 1998, pp. 615~619.

[13] L. E. Oliveira, L. B. Silva and J. O. Pinto, "Improving the dynamic Response of Active Power Filters based on The Synchronous Reference Frame Method", in *Proc. IEEE APEC*, 2002, pp. 742~748.

저 자 소 개



**양승환(梁承煥)**

1972년 4월 9일생. 1995년 동신대 전기공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 현대주택관리(주) 전기안전관리사업부 부장.



**정영국(鄭榮國)**

1963년 11월 10일생. 1986년 전남대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 2000년 일본 오카야마대학 연구방문. 현재 대불대 컴퓨터정보공학부 조교수.



**임영철(任永徹)**

1953년 4월 23일생. 1975년 전남대 전기공학과 졸업. 1977년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1997년 오스트레일리아 모나시대학 Visiting Scholar. 현재 전남대 전기공학과 교수. 한국과학재단 지정 전남대 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터(RRC) 소장.