

論文99-36T-12-8

## 단상 전력용 능동필터형 무정전 전원장치

### (Active Power Filter Type Single Phase Uninterruptible Power Supply(UPS) System)

金 濟 泓 \* , 孫 宰 顯 \*

(Je-Hong Kim and Jae-Hyun Son)

#### 요 약

본 논문에서는 전력용 능동필터의 성능을 가지는 양방향성 무정전 전원장치를 제안한다. 제안된 시스템은 전력용 능동필터모드와 배터리 방전전력모드인 2가지 모드로 나누어진다. 전력용 능동필터모드에서 고조파전류와 무효전력을 효과적으로 보상하기 위하여 기준전류를 계산하는데, 새로운 폐-루프 제어기법이 사용된다. 마지막으로, 제안된 무정전 전원장치의 성능이 시뮬레이션과 실험에 의해 검증된다.

#### Abstract

In this paper, a bi-directional UPS with the performance of active power filter has been proposed. The operation of the proposed system can be divided into two modes, such as the active power filter mode and the battery back-up power mode. To improve the transient response for the effective compensation of harmonics and reactive power in active power filter mode, a novel closed-loop control strategy is used to calculate the reference current instantaneously. Finally, the performance of proposed UPS is verified by the simulation and experimental results.

#### I. 서 론

최근 급속도로 발전하고 있는 사무자동화(OA)나 공장자동화(FA) 기기에 이용되는 컴퓨터 정보통신망 시스템은 전원전압의 변동에 매우 민감해서 전압강하나 순간정전시 정지하거나 오동작을 일으키게 되어 정보를 파괴시키기도 한다. 따라서, 이러한 상용전원측의 해로운 영향들을 억제하고 일정전압 일정주파수의 안정된 전력을 주요 부하기기(Critical load)에 공급하기 위하여 무정전 전원장치(UPS)가 도입되었다.<sup>[1-6]</sup>

본 논문에서는 기존의 예비전원장치의 기능을 가지면서 전원계통과 부하가 직접 연계된 경우에 부하에서

발생된 고조파 및 무효전력을 전력변환장치가 보상하는 전력용 능동필터 기능을 가지는 다기능 무정전 전원장치를 제안하고자 한다. 제안된 시스템은 단지 하나의 전력변환장치를 사용하지만 충전기 및 정류기 기능과 고조파 억제 및 무효전력 보상 기능과 배터리 저장 전력 공급 기능 등을 가지고 있다. 이 시스템의 동작은 전력용 능동필터 모드(Active power filter mode; APF Mode)와 배터리 방전전력 모드(Battery back-up power mode; BBP mode)의 2개의 동작모드로 구분된다. 즉, 상용전원이 정상일 경우는 전원계통에 부하와 병렬로 접속되어 부하에서 발생하는 고조파 및 무효전력을 보상하고 전원전류를 정현파화하고 입력역율을 개선하며 배터리의 충전동작을 수행하여 배터리 전압이 일정한 값으로 유지되도록 한다. 한편, 상용전원이 불량하거나 정전 시에는 배터리로부터 직류전력을 공급받아 교류전력으로 변환하여 부하로 교류전력을 공

\* 正會員, 嶺東專門大學 電氣科

(Dept. of Electric Yeongdong College)

接受日字:1999年9月10日, 수정완료일:1999年11月24日

급한다. 이 시스템은 정상시에는 고조파 전류 및 무효 전력만 보상하고 비교적 손실이 적어서 효율이 높다. 또한, 별도의 충전기와 절연용 변압기를 사용하지 않아도 되므로 크기가 작고 효율이 높고 경제적이다. 그리고 본 논문에서는 전력용 능동필터 모드에서 부하의 고조파 전류 및 무효전력을 정확히 보상하기 위해서 단순하면서도 정확한 보상이 가능한 폐-루프 방식의 새로운 기준 전류계산방법을 제안한다.

마지막으로 제안된 전력용 능동필터형 다기능 무정전 전원장치에 대한 디지털 시뮬레이션과 실험을 수행하여 제안된 이론의 타당성을 입증한다.

## II. 제안된 UPS의 구성 및 동작

### 1. 전력회로의 구성

그림 1은 본 논문에서 제안된 전력용 능동필터형 무정전 전원장치 전체 구조를 나타낸 것이다. 양방향 전압형 컨버터는 정격이 1200V 75A인 4개의 IGBT 스위칭소자에 의해 H형 브리지로 구성되어 있으며 LC 저역필터 ( $L_a, C_a$ )와 상용전원측 선로 인덕턴스  $L_s$ 를 매개로 단상 상용전원에 접속되어 있다. 또한, 직류측은 평활용 커패시터  $C_d$ 와 배터리로 구성되어 있으며 직류 배터리전압  $V_{bat}$ 가 일정하도록 교류측 컨버터 출력 전류  $i_a$ 를 제어하고 있다.

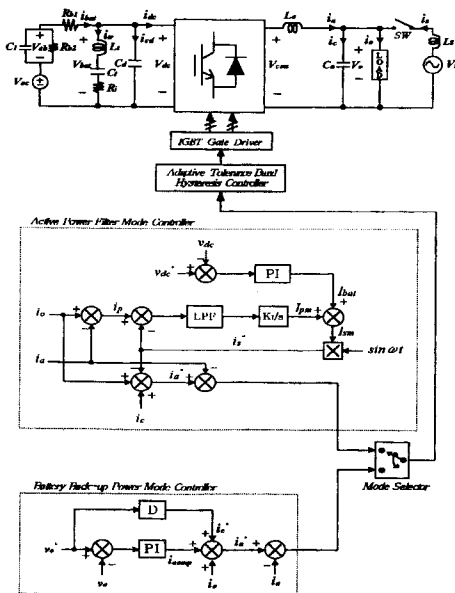


그림 1. 제안된 UPS 시스템도.  
Fig. 1. Proposed system construction.

양방향 컨버터의 직류 입력전류  $i_{dc}$ 는 전력용 반도체 스위치들의 스위칭패턴에 의존하며 직류성분과 많은 고조파전류들을 포함한다. 만약 고조파전류가 배터리로 직접 흐른다면 그것은 열 손실을 일으킨다. 따라서, 종래에는 컨버터와 배터리 사이에 고조파성분을 제거하기 위하여 대부분 LC 저역통과 필터를 사용하였는데 제안된 시스템에서는 LC 직렬 공진필터를 설치하여 직류측에 존재하는 전원주파수의 2배 고조파를 완전히 제거하도록 하였다. 그리고 병렬 평활용 커패시터는 스위칭 패턴에 의하여 발생하는 고조파 성분들을 억제하는 기능을 가지도록 하였다.

### 2. 무정전 전원장치의 동작모드

상용전원이 정전이 되거나 불량할 경우는 그림 2와 같이 배터리 방전 전력모드로 동작하며 사이리스터 스위치들은 양방향 컨버터가 부하에 배터리 방전 전력을 공급하도록 오프(OFF) 상태로 된다. 이때, 무정전 전원장치의 출력전압은 정전압 정주파수를 유지한다.

상용전원이 정상일 경우 역병렬 사이리스터 스위치들은 교류 상용전원이 부하에 교류전력을 공급하도록 온(ON)상태가 된다. 그때, 양방향 컨버터는 비선형 부하에 기인한 고조파 및 무효전력의 보상을 위하여 그림 3과 같이 전력용 능동필터모드로 동작한다.

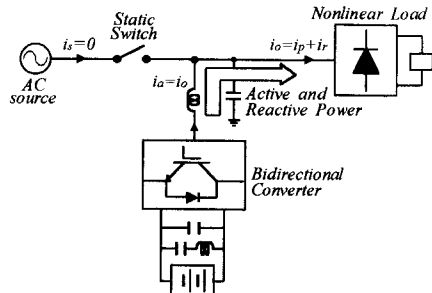


그림 2. 배터리 방전전력모드의 전력흐름도.  
Fig. 2. Power flow of battery back-up power mode.

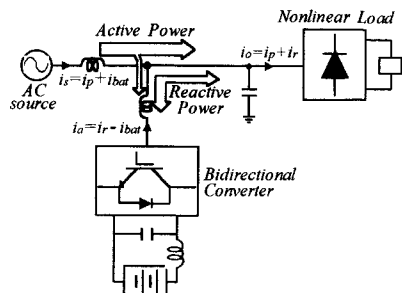


그림 3. 전력용 능동필터모드의 전력흐름도.  
Fig. 3. Power flow of active power filter mode.

### Ⅲ. 배터리 방전전력 모드

만약 상용전원이 정전되거나 표준전압범위를 벗어나 있다면 그때 사이리스터 스위치들은 오-프되며 양방향 전력용 컨버터는 배터리의 직류 방전전력을 부하로 공급한다. 따라서, 전력용 컨버터는 직류전력을 교류전력으로 변환하기 위한 인버터로서 동작하며 이것은 제안된 시스템의 배터리 방전전력 모드에 해당된다.

상용전원이 오-프되면 유효전력과 무효전력은 배터리로부터 부하로 직접 공급된다. 배터리 방전전력 모드에서 전력용 컨버터의 교류 출력전압은 이상적인 전압원이 된다. 무정전 전원장치 시스템의 부하는 일반적으로 비선형 부하이다. 그러므로, 무정전 전원장치의 과도상태응답을 어떻게 개선하고 출력전압을 어떻게 제어할 것인가가 중요한 문제로 대두된다. 왜냐하면, 출력전압 파형의 왜형은 전압제어기의 과도상태응답의 성능에 의존하기 때문이다. 즉, 과도응답특성이 우수한 전압제어기를 사용하면 무정전 전원장치의 출력전압의 파형은 비선형 부하에서도 정현파가 될 것이다. 이 논문에서는 그림 1에서 나타낸 바와 같이 이중제어루프의 형태로 외부 루프의 순시전압제어기와 내부 루프의 순시전류제어기를 사용하여 무정전 전원장치의 출력전압 파형이 비선형 부하에서도 정현파를 유지하도록 하였다. 이때, 내부 루프 전류제어기의 제어동작은 외부 루프 전압제어기의 제어동작보다 10배 정도 빠르게 구성하는 것이 일반적이다.<sup>[7, 11]</sup>

### Ⅳ. 전력용 능동필터 모드

상용전원이 정상인 경우 부하에서 필요로 하는 전력은 기본적으로 상용전원으로부터 공급받는다. 이 경우에 비선형 부하특성에 기인하여 상용전원에는 고조파 및 무효전력이 발생하여 상용전원전압이 이상적인 정현파라 할지라도 상용전원전류는 고조파가 포함되고 위상이 지연된다. 따라서, 상용전원전류를 전압전압과 동상의 정현파로 유지하기 위하여 부하에서 요구하는 고조파 및 무효전력을 전력변환장치로부터 보상받을 수 있도록 전력변환장치는 전력용 능동필터모드로 동작한다. 전력변환장치가 전력용 능동필터로 동작하는 경우에는 전력변환장치의 교류 출력측에는 무효전력만

이 흐르게 되므로 전력변환장치에서의 손실을 무시하면 전력변환장치의 직류측 커패시터 양단의 전압은 평균적으로 일정하다. 그러나 전력변환장치의 스위칭 소자에서의 손실과 계통선에서의 손실과 배터리의 손실 등을 고려한다면 직류측 전압은 전력변환장치의 동작에 따라서 점점 감소하게 된다. 따라서, 전력변환장치의 제어동작이 정상적으로 이루어질 수 있으려면 직류전압을 일정하게 유지하여야 하는데 이를 위하여 상용전원으로부터 유효전력을 공급받는다.

상용전원이 정상일 경우 상용전원순시전압은 식 (1)과 같이 정현파 전압원으로서 가정할 수 있다.

$$v_s(t) = V_{sm} \sin \omega t \quad (1)$$

비선형 부하가 인가된 경우에 비선형 부하에 흐르는 부하순시전류는 식 (2)와 같이 기본파성분과 고조파성분들로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} i_o(t) &= \sum_{n=1}^{\infty} I_{mn} \sin(n\omega t + \theta_n) \\ &= I_{m1} \sin(\omega t + \theta_1) + \sum_{n=2}^{\infty} I_{mn} \sin(n\omega t + \theta_n) \quad (2) \\ &= I_{mp} \sin \omega t + I_{mr} \cos \omega t + \sum_{n=2}^{\infty} I_{mn} \sin(\omega t + \theta_n) \end{aligned}$$

단,  $I_{mp} = I_{m1} \cos \theta_1$  : 기본파 유효전류성분의 크기

$I_{mr} = I_{m1} \sin \theta_1$  : 기본파 무효전류성분의 크기

$I_{mn}$  : 고조파 무효성분의 크기

그 때, 식 (1)과 식 (2)로부터 순시부하전력은 다음의 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} p_o(t) &= v_s(t) \cdot i_o(t) \\ &= V_{sm} I_{m1} \sin^2 \omega t \cos \theta_1 + V_{sm} I_{m1} \sin \omega t \cos \omega t \sin \theta_1 \\ &\quad + \sum_{n=2}^{\infty} V_{sm} \sin \omega t I_{mn} \sin(n\omega t + \theta_n) \quad (3) \\ &= \frac{1}{2} V_{sm} I_{m1} \cos \theta_1 (1 - \cos 2\omega t) + \frac{1}{2} V_{sm} I_{m1} \sin \theta_1 \sin 2\omega t \\ &\quad + \sum_{n=2}^{\infty} V_{sm} \sin \omega t I_{mn} \sin(n\omega t + \theta_n) \\ &= p_s(t) + q_c(t) \end{aligned}$$

단,  $p_s(t) = \frac{1}{2} V_{sm} I_{m1} \cos \theta_1 (1 - \cos 2\omega t)$  (4)

$$\begin{aligned} q_c(t) &= \frac{1}{2} V_{sm} I_{m1} \sin \theta_1 \sin 2\omega t \\ &\quad + \sum_{n=2}^{\infty} V_{sm} \sin \omega t I_{mn} \sin(n\omega t + \theta_n) \quad (5) \end{aligned}$$

식 (4)와 식 (5)에서 부하 유효전력  $p_s(t)$ 와 부하 무효전력  $q_c(t)$ 는 순시치이며 식 (4)는 항상 양(+)인 유효

전력을 나타내며

식 (5)는 평균치가 항상 '0'인 무효전력을 나타낸다.

$p_s(t)$ 와  $q_c(t)$ 를 각각  $v_s(t)$ 로 나누면 식 (6)과 식 (7)로 주어진다.

$$\begin{aligned} i_p(t) &= \frac{p_s(t)}{v_s(t)} \\ &= \frac{\frac{1}{2} V_{sm} I_{m1} \cos \theta_1 (1 - \cos 2\omega t)}{V_{sm} \sin \omega t} \\ &= I_{m1} \cos \theta_1 \sin \omega t \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} i_r(t) &= \frac{q_c(t)}{v_s(t)} \\ &= \frac{\frac{1}{2} V_{sm} I_{m1} \sin \theta_1 \sin 2\omega t}{V_{sm} \sin \omega t} \\ &\quad + \frac{\sum_{n=2}^{\infty} V_{sm} \sin \omega t I_{mn} \sin(n\omega t + \theta_n)}{V_{sm} \sin \omega t} \\ &= I_{m1} \cos \omega t + \sum_{n=2}^{\infty} I_{mn} \sin(n\omega t + \theta_n) \end{aligned} \quad (7)$$

식 (6)과 식 (7)에서  $i_p(t)$ 와  $i_r(t)$ 는 각각 순시유효 전력 및 순시무효전력의 발생원인을 알 수 있다. 식 (2)와 식 (6) 및 식 (7)로부터 부하전류는 다음의 식 (8)과 같이 얻어진다.

$$i_o(t) = i_p + i_r \quad (8)$$

결국 식 (8)의 부하전류중에서 순시무효전류성분  $i_r(t)$ 를 전력변환장치가 공급한다면 상용전원에는 순시유효전류성분  $i_p(t)$ 만 흐르게 되어 식 (9)와 같이 상용전원전압과 동상의 정현파전류가 흐른다.

$$i_s(t) = i_p(t) = I_{mp} \sin \omega t \quad (9)$$

교류필터 커패시터에 흐르는 전류  $i_c$ 를 고려하고  $i_s$ 가  $i_p$ 와 같다고 가정하면  $i_a^*$ 는 다음의 식 (10)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} i_a^* &= -i_s + i_o + i_c \\ &= -i_s + (i_p + i_r) + i_c \\ &= i_r + i_c \\ &= (i_o - i_p) + i_c \end{aligned} \quad (10)$$

그러므로, 만약 PWM 제어기가 잘 동작한다면 그때 상용전원전류는 순수한 정현파이며 전원전압과 동상으

로 될 것이다.

## V. 시뮬레이션 결과

표 1은 디지털 시뮬레이션에 사용된 제안된 시스템의 사양들을 나타낸 것이다.

그림 4와 그림 5 그리고 그림 6은 제안된 전력용 능동필터형 무정전 전원장치 시스템이 부하로서 다이오드 브리지 정류기를 가지는 경우에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 결과들을 나타낸 것이다. 그림 4는 동작모드 전환시 상용전원전류와 부하전류 그리고 보상전류를 나타낸다. 상용전원이 정상일 때, 전력용 컨버터는 전력용 능동필터로서 동작하고 있음을 알 수 있다. 즉, 전력용 컨버터는 고조파전류와 무효전력을 보상하면서 배터리를 만충상태로 유지하기 위하여 충전동작을 수행하고 있음을 보여준다. 또한, 상용전원이 정전이 되었을 때 전력용 컨버터는 배터리 방전전력 모드로서 배터리에 충전되어있는 직류전력을 교류전력으로 변환하여 부하에 교류전류를 공급하고 있음을 보여준다. 그림 5는 그림 4와 동일조건에서 상용전원전압과 무정전 전원장치의 출력전압 그리고 직류 배터리 전압을 나타낸다. 무정전 전원장치의 출력전압은 상용전원이 정전이 되어도 변함없이 계속하여 출력되고 있음을 알 수 있다. 그러나 동일상황에서 직류 배터리 전압은 부하에 교류 부하전력을 공급하기 위한 방전동작으로 감소됨을 알 수 있다. 그림 6은 부하변동시 상용전원전류와 부하전류 그리고 보상전류를 나타낸다. 부하전류의 증가 또는 감소시 전원전류 역시 증가되거나 감소되지만 고조파전류와 무효전력의 보상 때문에 결코 왜형되지 않고 있음을 알 수 있다.

표 1. 제안된 시스템의 사양.

Table 1. Specifications of the proposed system.

Constants	Values
DC voltage	380[V]
Input voltage	220[V]
Output voltage	220[V]
Rating	5[kVA]
AC reactor	1.0[mH]
AC capacitor	400[ $\mu$ F]
DC capacitor	5000[ $\mu$ F]

이상의 결과들로부터 제안된 시스템은 무정전 전원 장치로서 갖추어야 할 조건들과 전력용 능동필터로서 갖추어야 할 조건들을 잘 만족시키고 있다는 것을 알 수 있었다.

VI. 실험결과

그림 7과 그림 8은 전력용 능동필터 모드에 대한 실험결과들을 나타낸다.

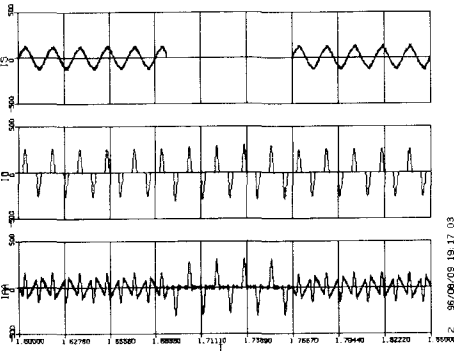


그림 4. 다이오드 정류기 부하일 때 시뮬레이션결과. (상) 상용전원전류, (중) 부하전류, (하) 컨버터 출력전류.  
Fig. 4. Simulation results with the diode rectifier load : (upper) Utility line current. (middle) Load current. (lower) Converter output current.

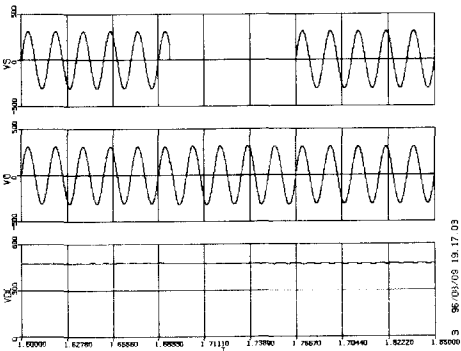


그림 5. 다이오드 정류기부하일 때 시뮬레이션결과. (상) 상용전원전압, (중) 출력전압, (하) 배터리 전압.  
Fig. 5. Simulation results with the diode rectifier load : (upper) Utility source voltage. (middle) Output voltage. (lower) Battery voltage.

그림 7은 상용전원전압과 부하전류의 파형을 나타낸다. 그림 8은 상용전원전류와 전력용 컨버터 보상전류의 파형을 나타낸다. 실험으로부터 제안된 시스템이 전력용 능동필터로 동작하여 비선형 부하의 고조파전류 및 무효전력을 보상함으로써 상용전원전류는 정현파이며 상용전원전압과 동상이 되고 있음을 알 수 있다. 그림 9는 배터리 방전전력 모드에서 무정전 전원장치의 출력전압과 부하전류를 나타낸다. 이중제어 루프형태의 순시전압·전류제어기를 가지고 구현하므로서 무정전 전원장치의 출력전압은 비선형 부하조건에서도 왜형없이 정현파가 되고 있음을 나타낸다. 이상의 실험결과들로부터 제안된 시스템이 전력용 능동필터 모드로서 뿐만 아니라 배터리 방전전력 모드로서도 잘 동작되고 있음을 알 수 있다.

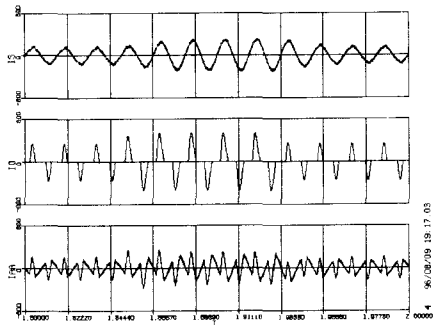


그림 6. 부하변동 시 시뮬레이션결과. (상) 상용전원전류, (중) 부하전류, (하) 컨버터 출력전류.  
Fig. 6. Simulation results with the diode rectifier load under the load change : (upper) Utility line current. (middle) Load current. (lower) Converter output current.

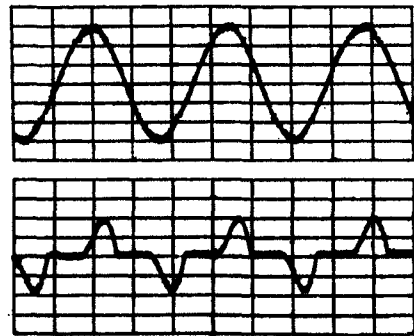


그림 7. 전력용 능동필터모드에서 상용전원전압(100V/div, 5ms/div)과 부하전류(12A/div).  
Fig. 7. Utility voltage(100V/div, 5ms/div) and load current(12A/div) in APF mode.

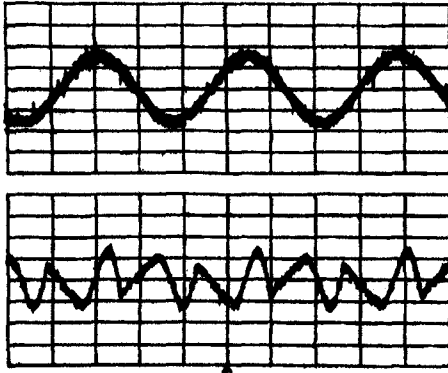


그림 8. 전력용 능동필터모드에서 상용전원전류(6A/div, 5ms/div)와 보상전류(12A/div).  
 Fig. 8. Utility source current(6A/div, 5ms/div) and compensation current (12A/div) in APF mode.

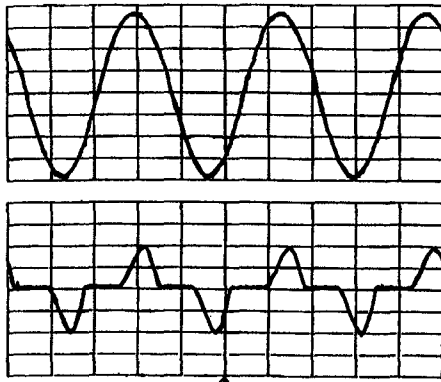


그림 9. 배터리 방전전력모드에서 출력전압(70V/div, 5ms/div)과 부하전류(12A/div).  
 Fig. 9. Output voltage (70V/div, 5ms/div) and load current (12A/div) in back-up power mode.

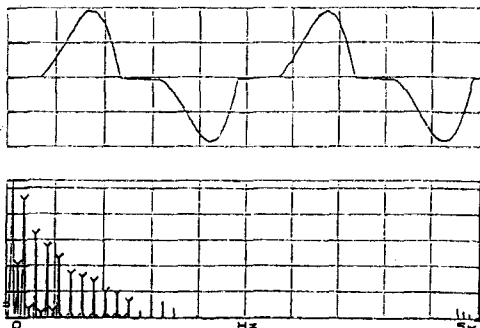


그림 10. 보상전 부하전류와 고조파 분석결과 (THD=47.5%).  
 Fig. 10. Load current and it's spectrum (THD=47.5%) before the compensation.

그림 10과 그림 11은 각각 부하전류와 상용전원전류의 고조파 분석결과를 나타낸다. 보상전 부하전류의 총 고조파왜형율은 47.5%이지만 전력용 능동필터모드의 동작에 의해 상용전원전류의 총고조파왜형율이 3.4%로 감소되었음을 알 수 있다.

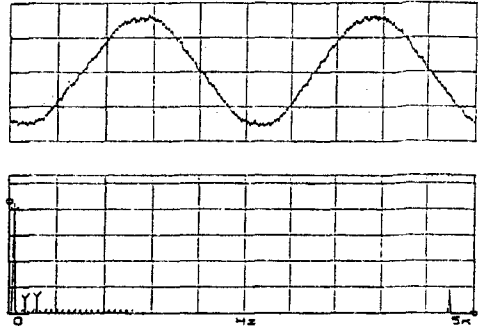


그림 11. 전력용 능동필터모드에서 상용전원전류와 고조파 분석결과(THD=3.4%).  
 Fig. 11. Utility source current and it's spectrum (THD=3.4%) in APF mode.

### VII. 결 론

본 논문에서는 기존의 예비전원장치의 기능을 가지면서 전원계통과 부하가 직접 연계된 경우에 부하에서 발생된 고조파 및 무효전력을 전력변환장치가 보상하는 전력용 능동필터 기능을 가지는 무정전 전원장치를 제안하였다.

그리고 5KVA급 전력용 능동필터형 무정전 전원장치에 대한 디지털 시뮬레이션과 실험에 의해 제안된 이론과 방법들의 타당성을 확인하고 분석하였다.

본 논문의 연구결과는 다음과 같다.

- 1) 전력용 능동필터 모드에서 고조파 및 무효전력을 보상하기 위하여 폐-루프 방식의 새로운 기준전류 계산법이 제안되었다.
- 2) 배터리 방전전력 모드에서 무정전 전원장치의 총 고조파 왜형율을 5[%] 이하로 낮추기 위하여 이중 제어루프 형태의 순시 출력전압제어기와 순시 전류제어기가 제안되었다.
- 3) 제안된 전력용 능동필터형 무정전 전원장치 시스템은 하나의 전력변환회로를 사용하기 때문에 효율이 높고 출력측과 부하사이에 별도의 절연용 변압기를 사용하지 않아도 되므로 가격이 싸다.

## 참 고 문 헌

- [1] J.H. Xu, et. al., "Compensation of AC-DC converter input current harmonics using a voltage-source active power filter", *EPE '93*, Vol. 1, pp. 735-740, 1991.
- [2] J.T. Boys, et. al., "Current-forced single phase reversible rectifier", *IEE Proc.*, Vol. 136, No. 5, pp. 205-211, 1989.
- [3] 安富 誠, et. al., "無効電力補相三相無瞬斷 無停電 電源裝置", 日本電氣學會全國大會, *SPC-87-3*, pp. 19-28, 1987.
- [4] Eric Person, et. al., "Adaptive tolerance band current control of standby power supply provides load current harmonic neutralization", *PESC '92*, Vol. 1, pp. 320-325, 1991.
- [6] Hui-Yung Chu, et. al., "A novel bidirectional UPS", *EPE' 91*, Vol. 3, pp. 199-204, 1991.
- [7] H.L. Jou, et. al., "A new parallel processing UPS with the performance of harmonic suppression and reactive power compensation", *PESC' 94*, pp. 1443-1450, 1994.
- [8] S.Tepper, et. al. "A simple frequency independent method for calculation of the reactive and harmonic current in a nonlinear load", *IPEC' 95*, Vol. 1, pp. 370-375, 1995.
- [9] 川畑陸夫, et. al., "多機能 INVERTER 電源並列 接續形 UPS", 87年 電氣學會全國大會, pp. 69-78, 1987
- [10] T. Kawabata, et. al., "Chargerless UPS using multi-functional BIMOS inverter", *IEEE IAS Ann. Meet.*, pp. 513-520, 1986.
- [11] N. Mohan, et. al., "Standby power supply(SPS) with load current harmonics neutralizer", *EPE'91*, Vol. 3, pp. 140-142, 1991.

## 저 자 소 개



金 濟 泓(正會員)

1965년 11월 23일생. 1988년 2월 충북대학교 전기공학과 졸업. 1990년 2월 충북대학교 대학원 전기공학과(공학석사). 1998년 2월 충북대학교 대학원 전기공학과(공학박사). 1996

년 2월~현재 영동전문대 전기과 조교수. 주 관심분야 : 전력전자, 전기기기



孫 宰 顯(正會員)

1960년 4월 22일생. 1987년 건국대 공대 전기공학과 졸업. 1989년 동대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1995년 동대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1995~1998년 한국전기

안전공사 부설 전기안전시험연구원 선임연구원. 1998년~현재 영동전문대학 전기과 전임강사. 주 관심분야 : 인공지능을 이용한 적응제어, 고조파 저감대책 기법