

## IGBT PWM Rectifier의 각상 개별제어 알고리즘에 관한 연구

김승호<sup>1</sup>, 박재범<sup>1</sup>, 태동현<sup>1</sup>, 김승중<sup>2</sup>, 송중호<sup>3</sup>, 노대석<sup>\*</sup>

<sup>1</sup>한국기술교육대학교 전기전자통신공학부, <sup>2</sup>세방전기, <sup>3</sup>서울과학기술대학교

### A Study on the Algorithm for Single Phase Control of IGBT PWM Rectifier

Seung-Ho Kim<sup>1</sup>, Jae-Beom Park<sup>1</sup>, Dong-Hyun Tae<sup>1</sup>,

Seung-Jong Kim<sup>2</sup>, Joong-Ho Song<sup>3</sup>, Dae-Seok Rho<sup>\*</sup>

<sup>1</sup>Korea University of Technology & Education, <sup>2</sup>Global Electricity Co., Ltd,

<sup>3</sup>Seoul National University of Science and Technology

**요약** 최근 UPS의 효율을 높이기 위하여 무변압기형 UPS의 사용이 증가되고 있다. 하지만 무변압기형 UPS는 입·출력 구조상 문제로 인해 3상4선식의 IGBT PWM 정류기가 필요하며 이는 기존의 3상3선식 PWM 정류기의 PFC 제어기법으로는 중성선 전류 문제로 동작이 되지 않으므로 3상4선식 PWM 정류기의 특성에 맞는 적절한 PWM 제어기법이 요구되고 있다. 3상4선식 IGBT PWM 정류기의 제어를 위한 제어기법으로는 각상 개별제어 기법과 3D SVM 기법이 있지만 두 방식 모두 장단점이 존재한다. 각상 개별제어 기법은 제어가 불안정하고 3D SVM 기법은 입력 측 인덕터의 L값이 상당히 커져야하는 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 기존의 각상 개별제어 방식과 d-q 제어 알고리즘을 접목시켜 동기좌표계상에서 직류로 제어하는 3상4선식 IGBT PWM 정류기 제어기법을 제안하였다. 또한 본 논문에서 제안한 3상4선식 IGBT의 PWM 정류기 제어 알고리즘을 바탕으로 시뮬레이션과 실험을 수행 하였다. 시뮬레이션을 수행한 결과, 3상4선식 IGBT PWM 정류기를 안정적으로 제어하고 중성선 전류를 줄일 수 있어, 본 논문에서 제안한 방식의 유효성을 확인하였다.

**Abstract** Recently, the use of transformer-less UPS has increased to improve the efficiency of UPS. However, transformer-less UPS is required in three-phase four-wire input IGBT PWM rectifier and the existing three-phase three-wire PFC algorithm cannot be applied in the three-phase four-wire system due to the neutral current problem of UPS input. To control the three-phase four-wire input IGBT PWM rectifier, there are two existing algorithms: 3D SVM and single phase control method. These two algorithms have advantages/disadvantages in controlling the rectifier. The single phase control method is unstable for controlling the rectifier and the 3D SVM method has a problem that must increase the L value of the input-side inductor considerably. Therefore, this paper proposes digital single phase control technology and another new algorithm considering the d-q control, to improve the characteristics of the existing control algorithm. In addition, this paper performed a simulation and experiment based on the proposed control algorithm. The simulation results showed that the proposed technology can control three-phase four-wire IGBT PWM rectifier in a stable manner and can also reduce the neutral current. The proposed algorithm is a useful tool for controlling the three-phase four-wire IGBT PWM rectifier.

**Keywords** : UPS, IGBT PWM Rectifier, Single Phase Control, d-q Control

\*Corresponding Author : Dae-Seok Rho(Korea University of Technology & Education)

Tel: +82-10-2306-2213 email: dsrho@kut.ac.kr

Received October 5, 2015

Revised (1st March 23, 2016, 2nd April 5, 2016, 3rd April 6, 2016)

Accepted April 7, 2016

Published April 30, 2016

## 1. 서론

최근 전력손실을 최소화하고 효율을 높이기 위하여 UPS(Uninterruptible Power Supply) 내의 변압기를 제거한 무변압기형 UPS의 사용이 확대되고 있다. 그러나 무변압기형 UPS는 구조상의 문제로 입·출력 3상4선식의 토폴로지를 가지게 되며 입력특성을 개선하기위해 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor) PWM(Pulse Width Modulation) 정류기를 사용한다[1-3]. 이러한 3상4선식 IGBT PWM 정류기의 PFC (Power Factor Correction) 제어에 있어 3상3선식 PWM 정류기의 제어 기법인 SVM(Space Vector Modulation)으로는 중성선 전류 폭주 문제로 인해 동작이 되지 않으므로 3상4선식 IGBT PWM 정류기의 특성에 맞는 적절한 제어기법이 반드시 필요하다[4]. 기존의 제어기법으로는 각상 개별 제어 기법과 3D(3 Dimensional) SVM 기법이 있는데, 후자는 d-q 변환에 의해 동기좌표계 상에서 제어하므로 동작이 안정적으로 이루어지며 중성선 전류를 최소로 줄일 수 있는 장점이 있으나 입력 측 인덕터의 L 값이 상당히 커져야하는 문제점이 있다. 또한, 기존의 각상 개별제어 제어기법은 아날로그적인 방법으로 제어를 하므로 튜닝이 매우 까다롭고 제어가 불안정하다는 단점이 있다[5-6][10].

따라서 본 논문에서는 3상4선식 IGBT PWM 정류기의 제어를 디지털 제어 기반의 각상 개별제어 방식으로 구현하였으며, 개별제어 방식의 제어를 원활하게 수행하기 위하여 d-q 제어 알고리즘을 제안하였다[7]. 각상 개별제어는 단상을 제어하는 것이므로 이러한 3상에서 사용하는 d-q 제어를 단상 제어에 적용하기 위해서는 APF(All Pass Filter)를 사용하는 특별한 메커니즘을 제시하였으며, 제어방식은 고속 디지털 제어가 가능한 DSP(Digital Signal Processor)를 사용하였다[11-12].

## 2. 각상 개별제어 방식의 3상4선식 PWM 정류기의 제어알고리즘

3상4선식 IGBT PWM 정류기는 Fig. 1과 같이 교류 입력의 중성점이 직류 출력의 중성점과 서로 연결되는 구조가 되며, 이는 기존의 3상 3선식 IGBT PWM 정류기 제어방식으로는 중성선 전류가 폭주하는 등 제어가

불가능하다. 따라서 3상4선식 시스템에서는 3상 정류기의 PFC 제어와 더불어 중성선 전류의 적절한 제어가 필수적이며, 3상4선식 PWM 정류기의 제어 특성에 맞는 적절한 제어기법이 반드시 필요하다.

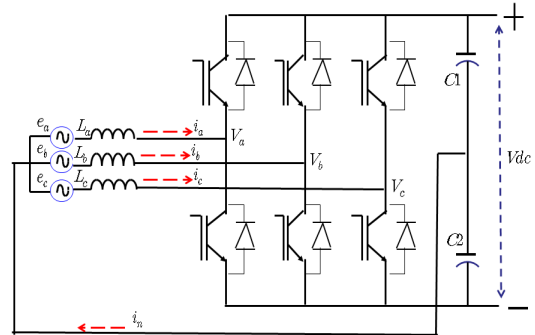


Fig. 1. PWM rectifier of 3-phase 4-wire system

### 2.1 기존의 3상 3선식 정류기 제어 알고리즘

AC/DC Boost 컨버터에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하거나 DSP에 의한 디지털 제어를 구현하려면 3상의 입력의 전압과 전류를 고정좌표계와 동기좌표계 사이에서 서로 변환하는 것이 요구된다[8-9]. 이를 위해 컨버터의 전압방정식을 통하여 수학적 모델링이 필요하며, 이 모델링을 바탕으로 디지털 제어 알고리즘을 수행할 수 있다. 이들 사이의 변환 관계는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$T(\theta) = R(\theta) \cdot T(0) \tag{1}$$

여기서,  $R(\theta) = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix}$  는 정지좌표계를 동기좌표계로 바꾸는 변환행렬이며,

$$T(0) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & -\frac{1}{\sqrt{3}} \end{pmatrix}$$

는 abc좌표계를 정지좌표계로 바꾸는 변환행렬이다.

### 2.2 각상 개별제어 방식의 정류기 제어 알고리즘

#### 2.2.1 각상 개별제어 방식의 동작모드 및 알고리즘

Fig. 2는 Fig. 1의 3상4선식 IGBT PWM 정류기에서 하나의 상만을 나타낸 단상 half bridge AC/DC boost 컨버터의 각 동작모드를 나타낸 것이다. 이 회로는 교류 입력 측 리액터  $L_i$ 를 매개로한 AC/DC 스텝-업(step-up)

기능을 가진 직류출력 승압형 컨버터이다. 초기 동작 시에 전원전압  $V_s$ 는 다이오드 브리지 회로를 통해서 직류측으로 전력을 공급하며, 출력 측 커패시터  $C_1$ 에는  $\sqrt{2}V_s$ 로 직류전압이 충전되고, 충전이 끝나면 다이오드는 모두 역 바이어스 상태가 된다. 이 때 IGBT S2가 턴 온(Turn-on)하면  $V_s$  전압은 L을 통해 단락모드가 되므로 전류는 L과  $C_2$ 를 통해 흐르게 되어 L 양단에 에너지가 축적되고(Mode-1), S2가 Off되면 이 에너지는 S1의 다이오드를 통해 방전하며  $C_1$ 을 충전시키게 된다(Mode-2). 이러한 원리로 교류입력 측 리액터의 스태핑 기능에 의해 직류출력 측 커패시터의 양단 전압은 입력 전압보다 높은 전압을 가지게 된다. 또한 IGBT는 PWM 변조방식으로 입력전류의 크기와 위상을 제어하여, 입력 전류를 정현파에 가깝게 함으로서 고조파 성분을 제거하여 고역률 운전이 가능하도록 하며, 부하 측 전압  $V_{dc}$ 가 일정하게 유지되도록 입력  $i$ 를 제어한다. 또한 Mode-3와 Mode-4는 상기의 메커니즘과 같이 교류 전원 전압이 (-) 반주기 구간의 동작 상태를 나타낸 것이다.

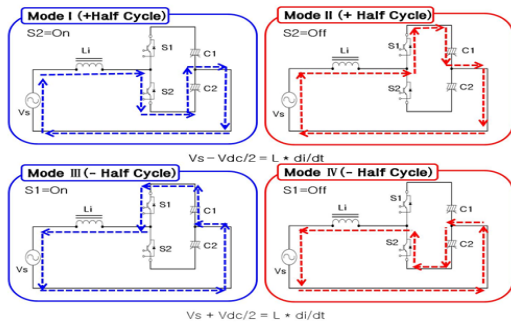


Fig. 2. Operate mode of single phase half bridge AC/DC boost converter

한편, 각 상의 전류는 각 상의 전원전압을 추종 동작하여 각 상이 독립적으로 개별 제어되는 원리로 3상이 통합적으로 제어되지는 않는다. 즉, 3개의 1상 half bridge AC/DC boost 컨버터가 개별적으로 동작하는 구조이다.

### 2.2.2 각상 개별제어 방식의 d-q 제어 알고리즘

본 연구에서는 Fig. 3과 같이 d-q 제어를 기반으로 3상4선식 정류기의 각상을 개별로 제어하는 알고리즘을 적용하였다. 이러한 d-q 제어 기반의 각상 개별제어 방식은 일반적인 SVM 방식에 비해 제어기의 수량이 많아

지고 변환과정이 복잡한 단점을 가지고 있으나, 기존의 제어방식은 정지좌표계 상에서 제어하므로 벡터가 회전하는 상태로 제어해야 해서 sine wave 상태에서 제어하게 되는데 비해 본 방식과 같이 동기좌표계 상에서 제어하면 벡터가 정지해있는 것과 같이 보이므로 제어과정이 DC로 처리되어 제어가 안정되고 튜닝이 쉽다는 장점이 있다.

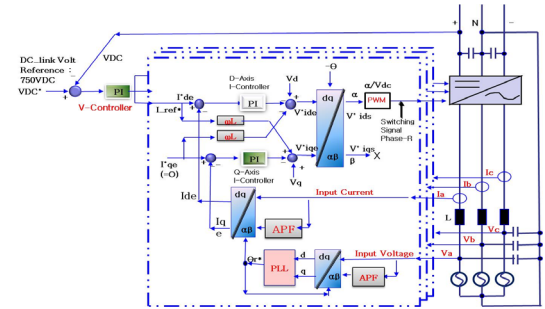


Fig. 3. Block diagram of single phase control for 3-phase 4-wire IGBT PWM rectifier

한편, 3상 제어에 사용되는 d-q 제어를 단상 제어에 적용시키기 위하여 본 논문에서는 다음과 같이 APF를 적용하였다. 즉, 교류입력 측의 3상 전압과 전류 신호는 디지털 제어를 위해 abc 좌표계-정지 좌표계( $\alpha\beta$ )-동기좌표계(d-q)로의 변환 과정을 거친다. 그러나 각상 개별 제어 방식에서는 전압, 전류 신호 입력이 단상이므로 abc- $\alpha\beta$  변환기를 사용할 수 없다. 여기서 정지좌표계는 2상  $\alpha\beta$ -로 구성되며, 이  $\alpha\beta$ -는 서로  $90^\circ$  위상차인 점을 이용해 정지좌표계로의 변환을 위해 a상 신호와 크기는 같고 위상만  $90^\circ$  뒤지는 가상의 파형을 생성한 후  $\alpha\beta$ -dq 변환기의 입력에 인가시킨다. 즉, 기준신호와 크기는 같고 위상만  $90^\circ$  뒤지는 가상의 신호를 만드는 APF 필터를 사용하여 단상 제어 d-q 변환에 적용하였다. Fig. 3은 각 상의 전압과 전류를 검출하는 데에 이러한 APF를 이용하여,  $\alpha\beta$ -dq 변환기의 입력에 인가하는 상태를 나타낸 것이다.

따라서 식 (1)에서 abc좌표계를 정지좌표계로 바꾸는 변환행렬  $T(0)$ 를 제외한 나머지 부분은 그대로 적용이 가능하며, 각상 개별제어 방식의 변환행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R(\theta) = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \quad (2)$$

여기서 컨버터 각 상의 입·출력전압은 식 (3)과 같고, 식 (3)의 컨버터 입·출력전압과 크기는 같고 위상이 90° 뒤진 임의의 전압파형은 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$e = \sqrt{2} E \cos \theta \quad (3)$$

$$e_I = \sqrt{2} E \sin \theta \quad (4)$$

따라서 이러한 파형을 αβ-dq 변환기의 입력에 인가하고 동기좌표계로 d-q 변환하게 되면 식 (5)와 같고, R(θ)에 식 (2)를 대입하면 다음 식(6)과 같이 나타낼 수 있다. 또한 식 (6)에 식 (3)과 식 (4)를 대입하면 최종적으로 식 (7)을 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} e_d \\ e_q \end{bmatrix} = R(\theta) \begin{bmatrix} e \\ e_I \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} e_d \\ e_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} e \\ e_I \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} e_d \\ e_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \cdot \sqrt{2} E \begin{bmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{2} E \\ 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

이상의 과정과 결과는 교류 3상을 동기좌표계로 변환하는 과정과 같으며, 따라서 이는 단상회로에도 위와 같은 방식으로 동기좌표계를 적용 가능함을 나타낸다. 한편 위 식(7)의 결과는 교류 변수들이 그 교류의 각속도(주파수)로 회전하는 회전좌표계에서는 직류(DC)값으로 표현됨을 알 수 있다.

### 3. 시뮬레이션 결과 및 분석

#### 3.1 PSIM을 이용한 특성분석

앞서 2.2.2의 제어 알고리즘을 적용한 3상4선식 정류기의 유효성과 타당성을 검증하고 실험결과를 예측하기 위한 시뮬레이션을 다음과 같이 수행하였다. Fig. 4는 정류기의 직류출력에 정격용량의 저항부하를 인가한 조건에서 입력 측 각 상의 전류 파형을 나타내고, Fig. 5는 A상의 전압과 전류 파형을 나타낸 것이다. 이 그림에서와 같이 각 상의 입력 전류는 입력 전압과 동 위상으로 제어되며, 전체적으로 3상 입력 전류는 입력 전압과 모양과 위상이 거의 일치하여 0.99이상의 고역율 제어가

가능함을 확인하였다. 이러한 고역율 제어는 동일 부하 조건에서 정류기의 입력전류 크기를 감소시키고 전력선 및 보호기기 등 관련 전력 기자재의 사용을 절감 할 수 있다.

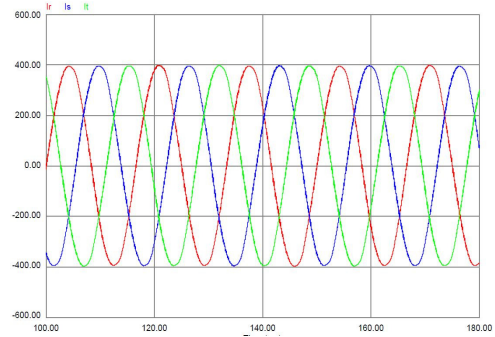


Fig. 4. Current waveform of input 3-phase

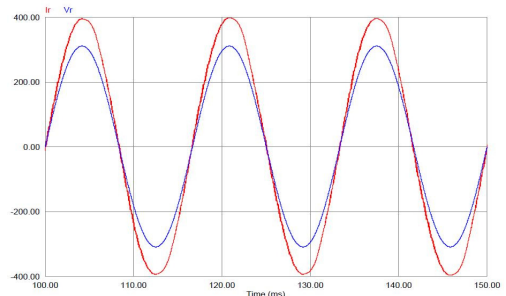


Fig. 5. Voltage and current waveform of input A-phase

#### 3.2 H/W 장치를 이용한 특성분석

##### 3.2.1 실험조건

실험용 UPS의 시스템 파라미터는 Table 1과 같다.

Table 1. System parameter

Input Voltage	3-phase 4-wire system 380/220Vrms, 60Hz
IGBT	1200V 75A
Input Inductor	0.5mH
Input filter Cap.	30uF
Capacity of rated power	30kW
DC-link Voltage	±375V(750V)
DC-link Cap.	2* 4700uF/String* 2 parallel
Switching frequency	10kHz

### 3.2.2 실험 결과

#### 1) 입력 측 상전류

Table 1과 같은 설계사양으로 3상4선식 AC/DC boost 컨버터를 구현한 회로도 및 구성도는 Fig. 6과 같고, 또한 Fig. 7은 저항부하가 정격의 90%인 경우에 대한 입력 A상의 상전압과 상전류의 파형을 나타낸 것이고, Fig. 8은 같은 조건에서 입력 측의 3상전류 파형 그리고 Fig. 9는 이 상태에서 입력 측의 역율 및 THDi를 측정한 결과를 나타낸 것이다. 이 그림에서와 같이, 입력 전류가 입력전압과 동일한 위상으로 정현파를 유지하며 제어가 원활히 수행되고 있음을 확인하였다.

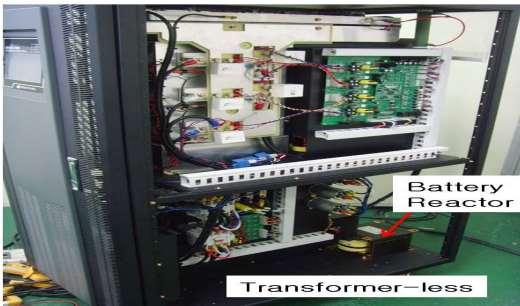
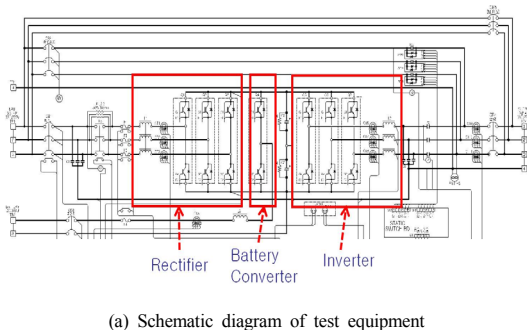


Fig. 6. Diagram and configuration of AC/DC boost converter

한편 Fig. 8은 정격출력에 대하여 저항부하 90%를 인가한 경우에 대하여 3상 입력의 각 상 전류파형을 나타내며, Fig. 9에서와 같이 0.99 이상의 높은 역율과 4% 이내의 낮은 THDi로 제어됨을 확인하였다.

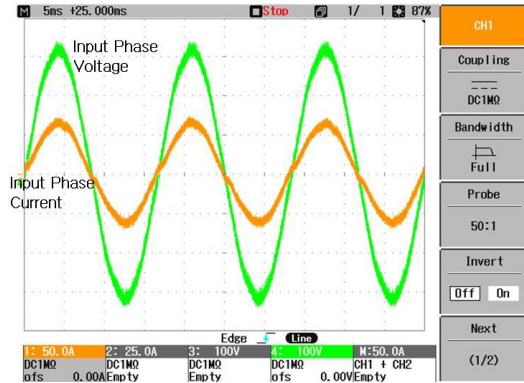


Fig. 7. Phase voltage and phase current waveform of input A-Phase(resistive load 90%)

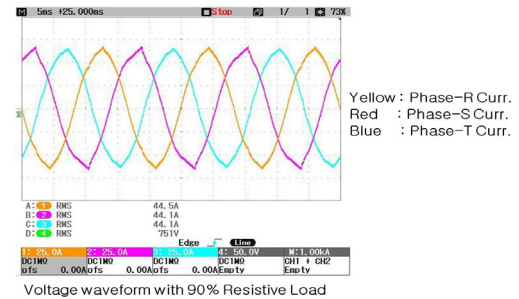


Fig. 8. Phase current waveform of 3-phase input (resistive load 90%)

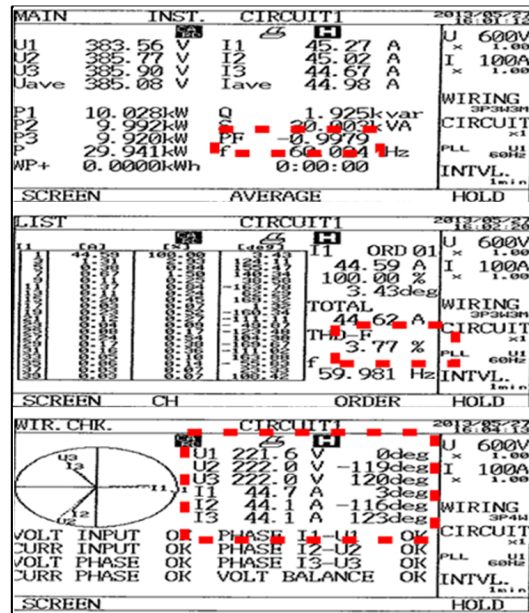


Fig. 9. Power factor and THDi(resistive load 90%)

2) 입력 측 중성선 전류

Fig. 10과 Fig. 11은 저항부하 25%, 100% 인가 시, 입력 측 중성선의 전류 파형을 나타낸 것이고, Table 2는 저항부하를 각각 25%, 50%, 75%, 100% 인가 시 각각의 입력 측 중성선 전류의 크기를 나타낸 것이다. 중성선 전류는 주로 3조파 성분으로 비교적 안정된 모습을 보이고 있으며 경부하시에는 부하량에 비례하여 증가하기는 하지만 약 50% 이상의 부하 시에는 부하량이 증가하여도 더 이상 증가하지 않고 유지되어 100% 부하 시 입력 상전류 45A의 약 15% 정도로 유지되는 것을 확인할 수 있었다.

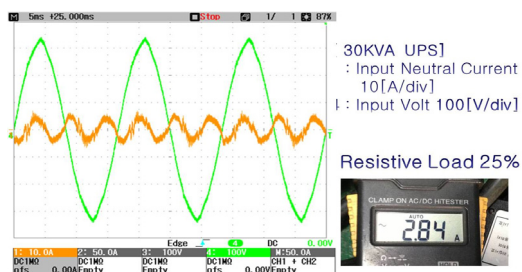


Fig. 10. Input current of neutral line waveform (resistive load 25%)

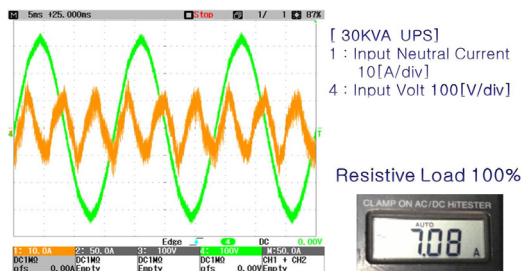


Fig. 11. Input current of neutral line waveform (resistive load 100%)

Table 2. Current values of neutral line

load capacity	25%	50%	75%	100%
current of neutral	2.84A	6.04A	6.84A	7.08A

각상 개별제어에서는 각상의 전류를 전압파형에 추종하여 제어할 뿐 이러한 중성선 전류를 직접 제어하지는 않으나 실 계통에서는 전원전압의 파형이 양호하므로 기본과 전류도 거의 평형을 이루어 실용상 문제가 되지 않

는다. 그러나 전원 전압이 왜곡된 경우에는 전원전압의 고조파 성분이 중성선에 나타나는 것을 알 수 있다.

3) 출력 단 DC-Link 전압

Fig. 12는 DC-Link 전압을 750[V]로 유지시킨 무부하 상태에서 100% 저항부하를 인가했을 때의 DC-Link 전압의 과도변동 파형이다. 초기 기동 시 전압지령은 목표 전압까지 서서히 소프트 스타트(soft-start)하도록 램프(ramp) 형태의 지령을 인가하여 급격한 전압 변동에 의한 제어기 탈조 및 Overshoot 가능성을 방지하였으며, 기동 후 목표 전압에 도달한 후 파형의 좌측과 같이 낮은 리플과 일정 전압으로 원활이 제어되는 것을 알 수 있었다. 이 그림에서와 같이 무부하 상태에서 100% 저항부하(750V DC 41A)를 직류 측에 순간적으로 인가한 경우, 약 30msec 이내에 목표치의 95% 이내로 회복되는 것을 확인하였다. 또한, Fig. 13과 Fig. 14는 DC 측과 AC 측에 있어서 100% 저항부하의 투입과 탈락을 반복한 경우로 DC Link 전압과 입력 측의 전압 및 전류 파형이 안정되게 제어됨을 알 수 있었다.

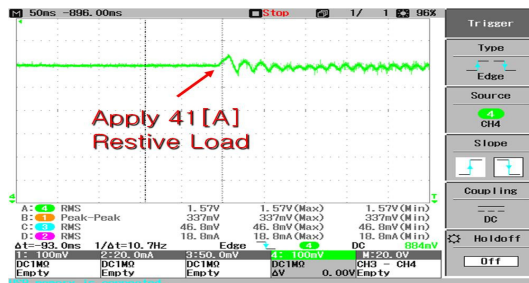


Fig. 12. DC-Link output voltage waveform

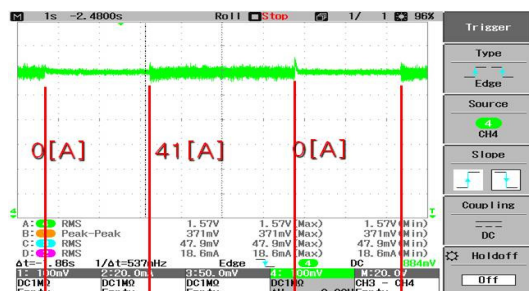


Fig. 13. DC output voltage waveform

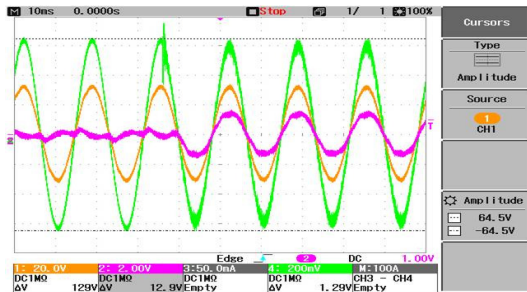


Fig. 14. Input voltage and current waveform

## 4. 결 론

본 연구에서는 3상4선식 IGBT PWM 정류기를 d-q 제어 기반의 디지털 각 상 개별제어 방식으로 제어하기 위한 PWM 제어알고리즘을 제안하였으며, 각 상의 단상 제어에 APF를 이용한 1상 d-q 제어 알고리즘을 적용한 각 상 개별제어 방식으로 3상4선식 PWM 정류기의 실제 구현 및 동작 성능을 평가하였다. 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 동기좌표계를 이용한 단상 d-q 제어를 접목시킨 각 상 개별제어 방식은 안정적인 d-q 동기좌표계 변환 알고리즘을 적용하여 제어를 직류로 하게 됨으로써 기존에 발생하고 있는 문제점을 개선하였다.
- 2) 본 연구에서 제안한 알고리즘으로 구현한 실험 장치의 특성을 분석한 결과, 입력 측 역률 0.99 이상, THDi 4%이내, 직류 측 전압안정도 2%, 부하 급변시 과도특성 30mSec 및 5% 이내로 복귀하여 제안한 알고리즘의 유용성을 확인하였다.

## References

- [1] IEC 62040-3 Uninterruptible Power System, Annex-I 2011.
- [2] Juha Lantta, "The UPS Trend", Eaton Powerware Finland, 2003.
- [3] White Paper, "High Power UPS Achieves Significant Size and Weight Reductions While Enhancing Performance", Eaton Powerware, 2009.

- [4] John G. Tracy, Hans-Erik Pfitzer, "Achieving High Efficiency in Double Conversion Transformer-less UPS" Eaton Powerware, IEEE, 2005.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/IECON.2005.1569031>
- [5] E. H. Kim, J. M. Kwon, B. H. Kwon, "Transformer-less three-phase on-line UPS with high performance" IET Power Electron, 2009.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1049/iet-pel:20070422>
- [6] Xiangsheng Li, Zhiquan, Zhida Chen, and Qingzhao Fei "Analysis and Simplification of Three-Dimensional Space Vector PWM for Three-Phase Four-Leg Inverter", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, Vol. 58, 2011.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TIE.2010.2046610>
- [7] Seung-Ho Kim, Seung-Teak Oh, Joo-kwang Lee, Sang-Won Yoo, Dae-seok Rho, "Algorithm of single phase control of IGBT PWM rectifier", Korea University of Technology and Education, 2014.
- [8] Sang-Hun Kim, "DC and AC Motor Control", Bogdo publishing company, pp.159-196, 268-308, 2007.
- [9] S.Y. Choi, R.Y. Kim, H.N. Kwon and J.W. Song, "The Control of Single Phase Inverter System Using DQ Modeling", korean institute of power electronics, announced conference proceedings in 2003, pp. 602-605.
- [10] K.-H. Um, "Design of Semiconductor-Operated Bidirectional Transformers Driven by Polarities of Alternating Voltage Sources," The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC), Vol. 15, No. 1, pp.253-259, Feb. 28, 2015.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2015.15.1.253>
- [11] S.-K. Shin, B.-J. Lee, D.-W. Jang, K.-S. Kim, "Implementation of a dynamic high-performance Notch Filter for Power-Line Communications," The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC), Vol. 13, No. 1, pp.221-227, 2013.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2013.13.1.221>
- [12] T.K. Oh, H.K. choi, H.K. Lee, "Design of Waveguide Low Pass Filter using Rectangular Rings and Ridges," The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC), Vol. 14, No. 1, pp.7-13, Feb. 28, 2014.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2014.14.1.7>

**김 승 호(Seung-Ho Kim)**

[종신회원]



- 1986년 2월 : 서울산업대학교 전기공학과 (공학학사)
- 2013년 8월 : 서울과학기술대학교 대학원 전기공학과(공학석사)
- 2014년 3월 ~ 2016년 현재 : 한국기술교육대학교 대학원 전기공학과 박사과정
- 1981년 6월 ~ 1989년 2월 : 이화전기공업(주) UPS 개발부

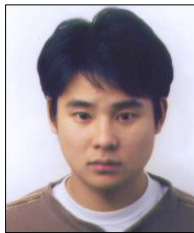
- 1989년 3월 ~ 현재 : 세방전기(주) 연구소장

<관심분야>

ESS, PCS, 마이크로그리드, 스마트그리드, 전력전자

**박 재 범(Jae-Beom Park)**

[정회원]



- 2011년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과(공학사)
- 2014년 2월 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 전기공학전공(공학석사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 전기공학 박사과정 재학 중

<관심분야>

배전계통 운용, 신재생에너지, 스마트그리드, 2차 전지

**태 동 현(Dong-Hyun Tae)**

[준회원]



- 2015년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과(공학사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 전기공학전공 석사과정 재학 중

<관심분야>

신재생에너지, 배전계통시스템

**김 승 종(Seong-Jong Kim)**

[정회원]



- 2001년 2월 : 동국대학교 공과대학교 전자공학과 (공학사)
- 2005년 2월 : 서울산업대학교 공과대학교 전자공학과 (수료)
- 2007년 7월 ~ 현재 : 세방전기 주식회사 연구소 재직중

<관심분야>

배전계통 운용, 신재생에너지, 스마트그리드, 품질 해석

**송 중 호(Joong-Ho Song)**

[정회원]



- 1980년 2월 : 서울대학교 전기공학과(공학사)
- 1982년 2월 : 동대학원 전기공학과(공학석사)
- 1993년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)
- 1982년 3월 ~ 1985년 2월 : 이화전기 기술부

- 1985년 3월 ~ 2002년 8월 : 한국과학기술연구원 지능제어연구센터 책임연구원

- 2002년 8월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 전기정보공학과 교수

<관심분야>

전력전자, 전동기제어, 전력품질해석

**노 대 석(Dae-Seok Rho)**

[정회원]



- 1985년 2월 : 고려대학교 전기공학과(공학사)
- 1987년 2월 : 동대학원 전기공학과(공학석사)
- 1997년 3월 : 일본 북해도대학교 대학원 전기공학과(공학박사)
- 1987년 3월 ~ 1998년 8월 : 한국전기연구소 연구원/선임연구원

- 1999년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수

<관심분야>

전력/배전 계통, 분산전원연계, 전력품질해석, ESS