

## 델타변환 방식의 삼상 라인 인터랙티브 무정전전원장치의 성능 시험

지준근\*, 김효성\*\*, 설승기\*\*\*, 김경환†

\*순천향대학교 정보기술공학부, \*\*천안공업대학 제어계측공학과

\*\*\*서울대학교 전기컴퓨터공학부, †(주)이화전기 기술연구소

### Performance Test of 3-Phase Line-interactive UPS System using Delta Conversion Strategy

Jun-Keun Ji\*, Hyo-sung Kim\*\*, Seung-Ki Sul\*\*\*, Kyung-Hwan Kim†

\*Division of Information Technology Engineering, Soonchunhyang University

\*\*Department of Control Engineering, Cheonan National Technical College

\*\*\*School of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University

†EWA Technologies Information Company

#### ABSTRACT

본 논문에서는 일명 델타변환 무정전전원장치(UPS)로서 알려져 있는 3상 라인 인터랙티브 UPS 시스템의 성능 시험에 대해서 다루고 있다. 델타변환 UPS는 종래의 단일 변환 라인 인터랙티브 UPS 시스템에서 직렬 인덕터를 제거하고 직렬 및 병렬 PWM 컨버터를 사용하는 새로운 라인 인터랙티브 UPS 시스템으로 전원 전류를 직접 제어함으로써 UPS 시스템의 입출력 특성들이 상당히 개선되는 것으로 알려져 있다. 여기서는 UPS 시스템의 성능 시험에서 중요한 내용들인 부하시험, 정전/복전시험, 동기절체 시험 등에 대한 결과들을 제시하고 델타변환 UPS 시스템에 대한 전반적인 평가를 한다.

#### 1. Introduction

무정전 전원 장치(UPS : Uninterruptible Power Supplies)는 전력 계통에 정전이 발생할 경우 부하에 연속적인 전원을 공급해주는 기기이다. 이러한 무정전 전원 장치는 1970년대 대형 컴퓨터 시스템에 안정된 전력을 공급하기 위하여 처음 시장에 등장했다. 1980년대 이후 디지털 시스템의 발달과 함께 UPS의 중요성은 더욱 커지게 되었고, 제어 기술, 용량 및 운용 방법에 있어서도 급격한 발달이 이루어지게 되었다. 최근에는 UPS의 본래 목적인 전력 공급 기능 외에 공급자 및 수용가 양측에 영향을 주는 전력 품질 관리 (Power Quality Conditioning)<sup>(1,2)</sup> 기능을 가지고 있는 UPS에 관한 연구도 활발히 이루어지고 있다. 본 논문에서는 UPS의 동작과 전력 품질 보상 기능 및 UPS를 위한 전력회로 토폴로지 등에 관한 기본적인 내용

을 살펴보고, 특별히 최근에 들어 각광을 받고 있는 델타변환 방식의 3상 라인 인터랙티브 UPS 시스템의 성능 시험 결과에 대한 소개 및 평가를 하고자 한다.

#### 2. 무정전전원장치용 토폴로지의 특징

##### 2.1 On-line UPS<sup>[3,4]</sup>

On-line UPS는 1970년대부터 사용된 용어이다. 이러한 방식의 UPS의 구조를 그림 1에 나타내었다. 그림에서 보는 것처럼 on-line UPS는 AC/DC 정류기/충전기, DC/AC 인버터, Static 스위치로 구성되어 있다. 입력단의 AC/DC 정류기/충전기는 교류 전원을 정류하여 배터리와 DC링크의 충전 전원으로 이용한다. 인버터는 항상 일정한 크기와 일정한 주파수의 전압을 합성한다.

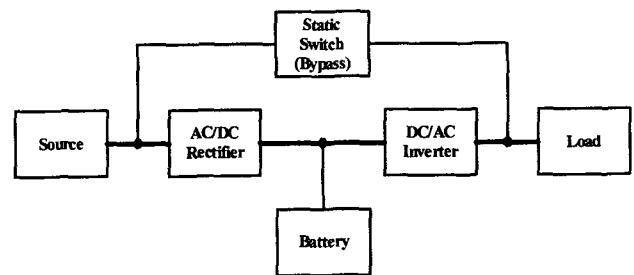


그림 1 On-line UPS의 구조

Fig. 1 Structure of On-line UPS

즉 정류기/충전기용 컨버터가 직류 전압을 만들고, 인버터가 교류 전압을 합성하게 된다. 이러한 방식을 double conversion 방식이라고도 한다. 따라서, 이러한 방식의 UPS는 어떠한 전원 조건에서도 배터리의 전원이 충분하다면, 부하에 전원을 연속적으로 공급할

수 있어 신뢰도가 매우 높다. 그러나, 이러한 방식의 UPS는 정류기/충전기용 컨버터가 부하의 공급전력 및 배터리 충전 전력을 모두 감당해야 하므로, 효율이 낮고 용량이 매우 커지게 된다. 또한 입력단 역률이 좋지 못하므로, 별도의 PFC를 추가해야 하는데 이때 추가 비용이 발생하게 된다. 부가되어 있는 static 스위치는 관통(Bypass) 모드로 동작할 경우 이용하며, 이 경우 UPS는 동작하지 않는다.

## 2.2 Off-line UPS [3,4]

1980년대에 들어 부하의 종류가 다양해지고 그 용량이 매우 커지게 되었고, 이와 발맞추어 Off-line UPS가 개발되었다. 그림 2에 Off-line UPS의 구조를 나타내었다.

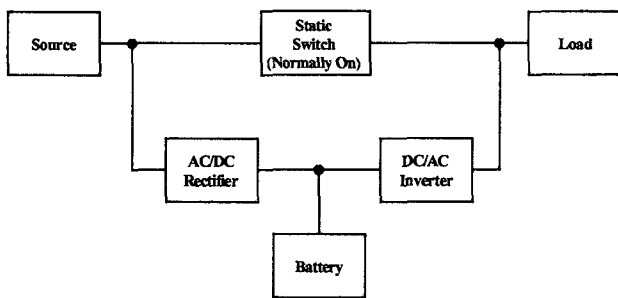


그림 2 Off-line UPS의 구조  
Fig. 2 Structure of Off-line UPS

Off-line UPS는 on-line UPS와 달리 교류 전압을 발생시키는 인버터가 선로에 병렬로 연결되어 있으며, 그리고 인버터를 연속적으로 동작시키지 않고, 전원 전압 사고 시에만 인버터를 동작시킨다. 이러한 방식의 UPS의 장점은 구조가 간단하고, 가격을 낮출 수 있으며, 부피가 작다는 것이다. 그러나 전원측과 부하측의 완전한 절연이 이루어지지 않으며, 대기 모드에서 UPS 모드로의 신속한 전환이 어려워 신뢰도가 낮고, 비선형 부하에서의 전압 합성 특성이 나쁘다는 것이 단점이다.

## 2.3 단일 변환 Line interactive UPS [5,6]

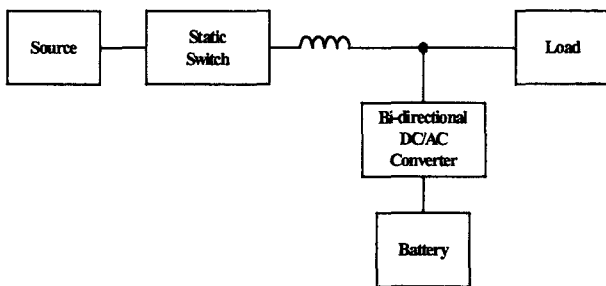


그림 3 단일 변환 방식 Line-interactive UPS의 구조  
Fig. 3 Structure of single conversion line-interactive UPS

그림 3에 나타낸 이러한 방식의 UPS는 구조가 간단하고, 저가격화 할 수 있으며, 효율이 높고 전원측의 전류 고조파를 제거할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 전원 계통과 부하 계통 사이의 절연이 완전하지 않으며, 출력 전압 조정이 어려우며, 출력 주파수 조정이 불가하다는 것이 단점이다.

## 2.4 델타 변환 Line interactive UPS [7,8,9]

그림 4에 나타낸 이러한 방식의 UPS는 현존하는 UPS중 가장 진보적인 형태의 토폴로지라고 알려져 있으며 APC사의 UPS 시리즈가 이에 해당한다. 입력단에는 UPS 모드 동작시 이용하는 static 스위치가 달려있으며, 직렬 변압기가 있다. 컨버터, 인버터 모듈은 각각 직렬 변압기와 부하에 연결되어 있으며, 배터리를 서로 공유하고 있는 형태이다. 이 형태는 기존의 알려진 UPQC의 토폴로지이지만, 그 제어 방법과 응용분야에 의해 차별화된다. 한편 델타 변환 UPS의 제어방법은 매우 간단하다. 우선 병렬 인버터는 입력전원과 동기된 주파수의 일정 크기의 전압(60Hz)만 전압제어를 통해 합성한다. 직렬 인버터는 전원단에서 부하측으로 유효전력을 공급하기 위한 전류를 직렬 변압기의 전류제어를 통해서 인가한다. 따라서 병렬인버터쪽으로는 부하측의 무효전류성분만 흐르게 된다. 즉 델타변환 방식의 UPS는 직렬 컨버터와 직렬 변압기를 통하여 전원단의 전류가 역률이 항상 1이 되도록 전류제어를 한다. 그리고 병렬 인버터를 통하여 부하단 전압을 전원 전압과 동기된 주파수로 일정 크기의 정현파가 되도록 제어해 준다. 따라서 제어가 기본파에 대해서만 수행되어, 매우 간단한 구조로 수행된다. 만일 정전 모드로 동작할 경우에는 병렬 인버터에서 정현파 전압을 여전히 합성하면 된다. 이러한 방식의 UPS는 역률 제어가 매우 용이하고, 출력 전압의 조정이 쉬우며, 효율이 매우 높다. 그러나 출력단 주파수 조정이 불가하다는 것이 단점을 갖는다.

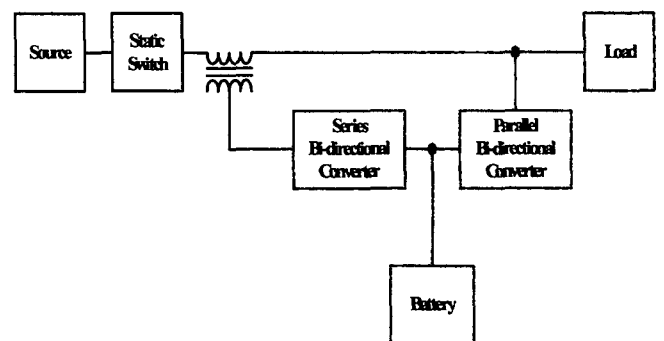


그림 4 델타 변환 방식 Line interactive UPS의 구조  
Fig. 4 Structure of delta conversion line-interactive UPS

### 3. 델타 변환 Line interactive UPS의 시험

그림 5는 델타 변환 UPS 시스템 구성도를 나타내며 2개의 PWM 인버터가 같은 배터리에 연결된 모습으로, 직렬인버터는 통상 UPS 출력전력의 20% 정격을 가지며 부하를 담당하는 주전원과 직렬변압기를 통해 연결되어 있다. 병렬인버터는 100% 정격 출력을 가졌고 기본적으로 단일변환 UPS의 인버터와 같은 기능을 합니다. 2개의 PWM 인버터 모두 4상한 운전기능을 가지고 있으며, 병렬인버터는 주전원으로 작동중이건, 배터리로 작동중이건, 또는 주전원에서 배터리 작동으로 또는 역으로 전환되는 과정이던지 상관없이, 부하에 정밀하게 조절된 출력 전압을 안정적으로 공급한다. 직렬인버터는 델타인버터라고 불리며 UPS 출력단과 주전원 전압간의 전압차를 보상한다. 델타인버터는 또한 정현파이며 주전원 전압과 동상인 전류를 주전원으로부터 끌어 들여 제어함으로써 입력 역률을 1로 조정한다. 뿐만 아니라 델타인버터는 배터리 충전을 제어한다. 그림 6은 이상적인 전류원과 전압원으로 나타낸 델타 변환 UPS 시스템의 단상 등가회로도를 보여준다.

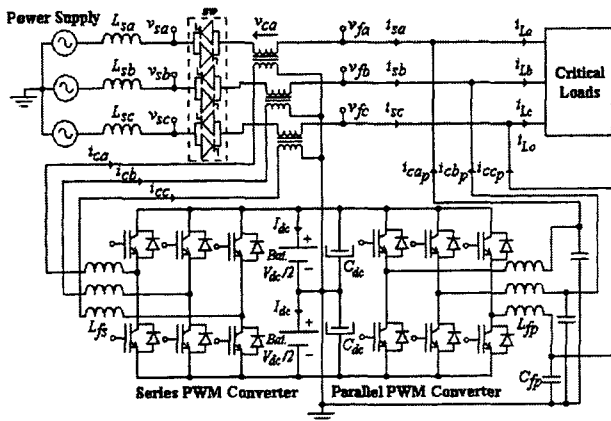


그림 5 델타 변환 UPS 시스템 구성도  
Fig. 5 Delta conversion UPS system diagram

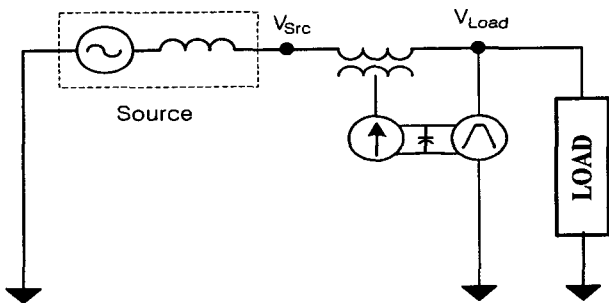


그림 6 델타 변환 UPS 시스템 단상 등가회로도  
Fig. 6 Single-phase equivalent circuit diagram of delta conversion UPS system

모든 시험 결과 파형에서, 각 채널은 1:전원전압, 2:출력전압, 3:전원전류, 4:출력전류를 나타낸다.

#### 3.1 정상모드 시험 결과

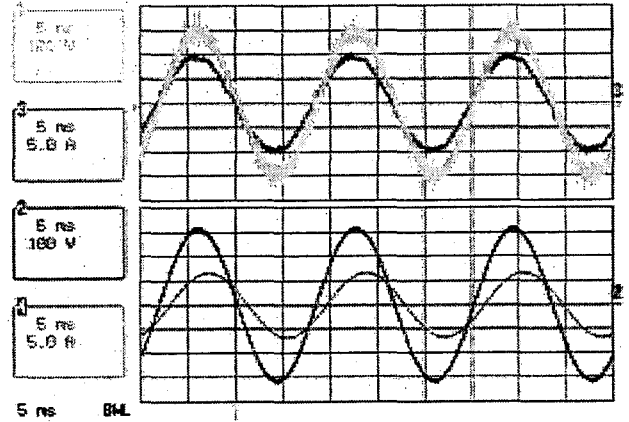


그림 7 R-L 선형부하시 응답(3KW)  
Fig. 7 Response of R-L linear load(3KW)

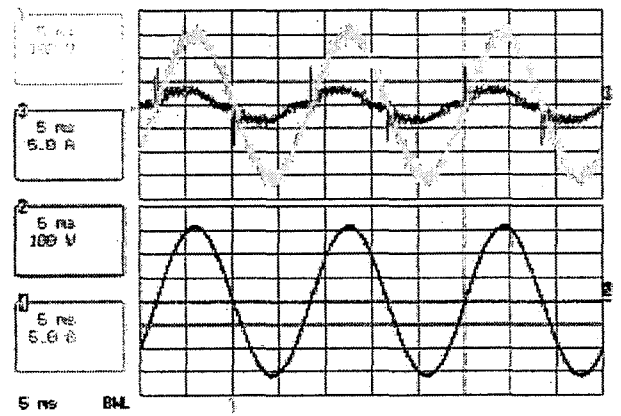


그림 8 무부하시 응답  
Fig. 8 Response of No-load

#### 3.2 스텝 부하시험 결과

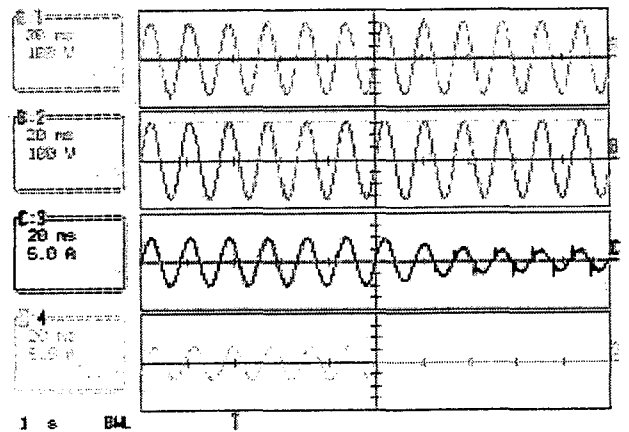


그림 9 R-L 선형부하시 응답(3KW→무부하)  
Fig. 9 Response of R-L linear load(3KW→No-load)

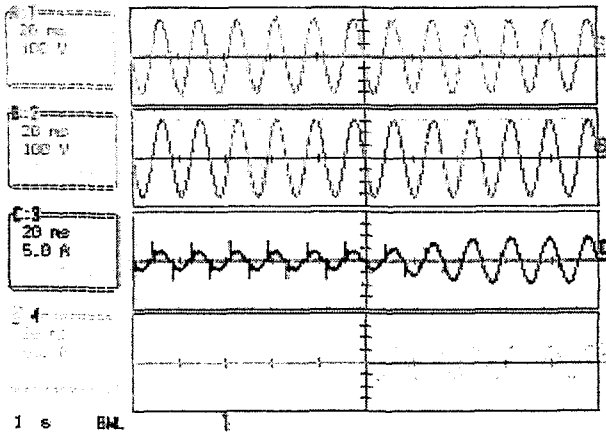


그림 10 R-L 선형부하시 응답(무부하→3KW)

Fig. 10 Response of R-L linear load(No-load→3KW)

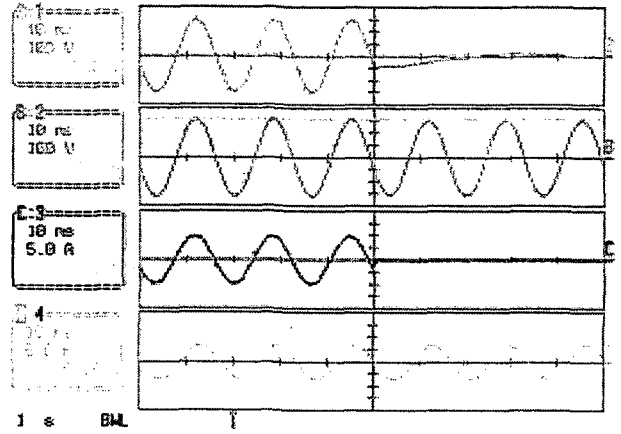


그림 13 R-L 선형부하시 응답(3KW) 확대

Fig. 13 Enlarged Response of R-L linear load(3KW)

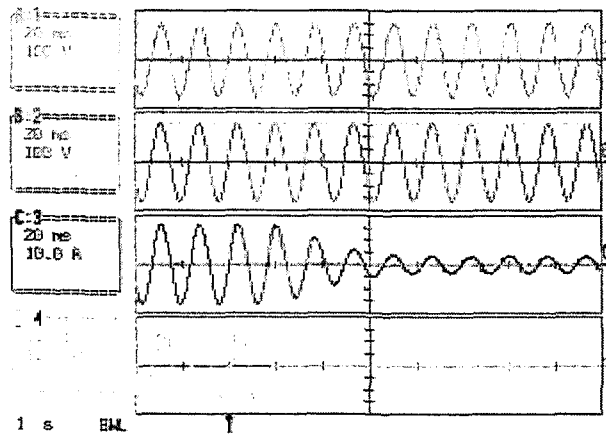


그림 11 비선형부하시 응답(63%→무부하)

Fig. 11 Response of nonlinear load(63%→No-load)

그림 9, 10, 11의 결과들로부터, Delta 변환 UPS 시스템은 선형 및 비선형 스텝 부하변동에 대해서 만족스런 입출력 동작 특성을 보여주는 것을 알 수 있다.

### 3.3 정전/복전 시험 결과(정상→정전→복전)

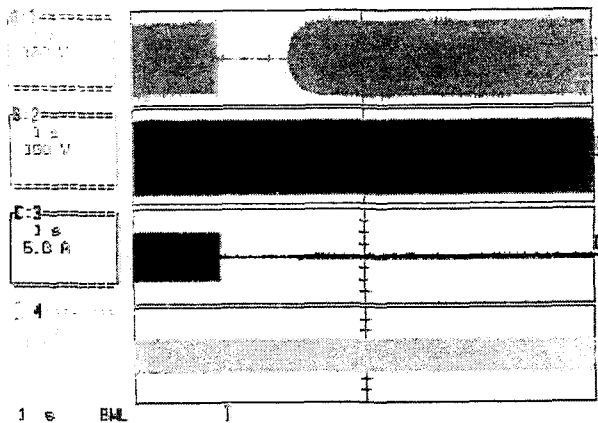


그림 12 R-L 선형부하시 응답(3KW)

Fig. 12 Response of R-L linear load(3KW)

### 3.4 동기절체 시험 결과(정상모드→Bypass모드)

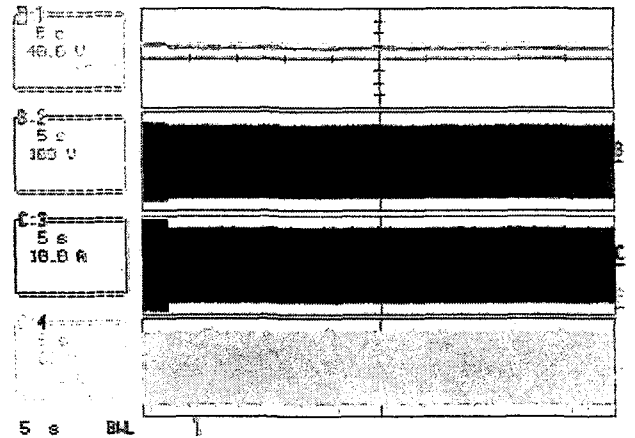


그림 14 비선형부하시 응답(63%부하)

Fig. 14 Response of nonlinear load(63% load)

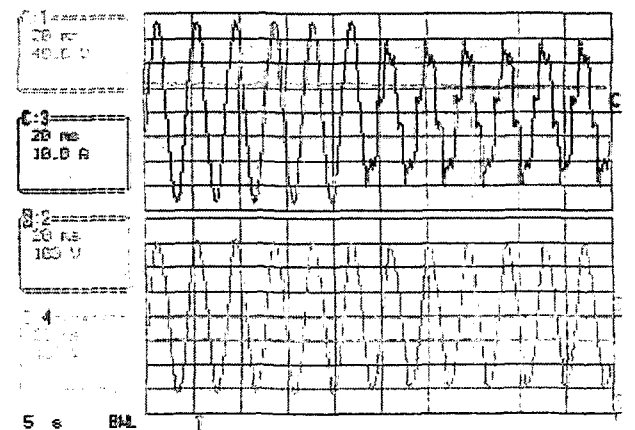


그림 15 비선형부하시 응답(63%부하) 확대

Fig. 15 Enlarged Response of nonlinear load(63% load)

그림 12-15의 결과들로부터, Delta 변환 UPS 시스템은 정상/정전/복전 모드와 동기절체 시에도 만족스런 입출력 동작 특성을 보여주는 것을 알 수 있다.

### 3.5 전원품질 문제시 시험 결과(Sag, Swell, Phase Jump)

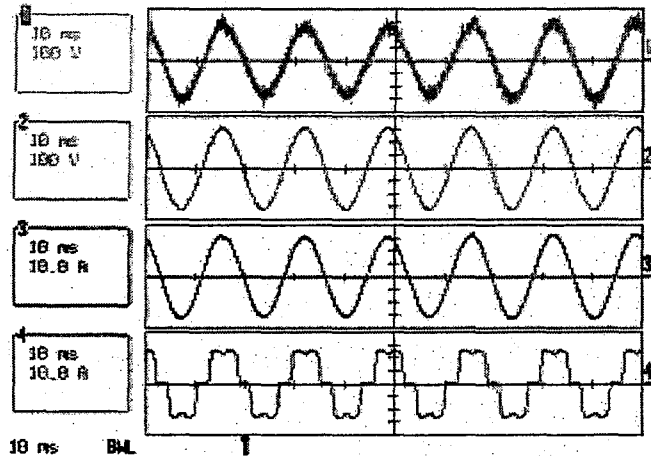


그림 16 전원전압 15% Sag시(63% 비선형부하)  
Fig. 16 15% Sag of source voltage(63% nonlinear load)

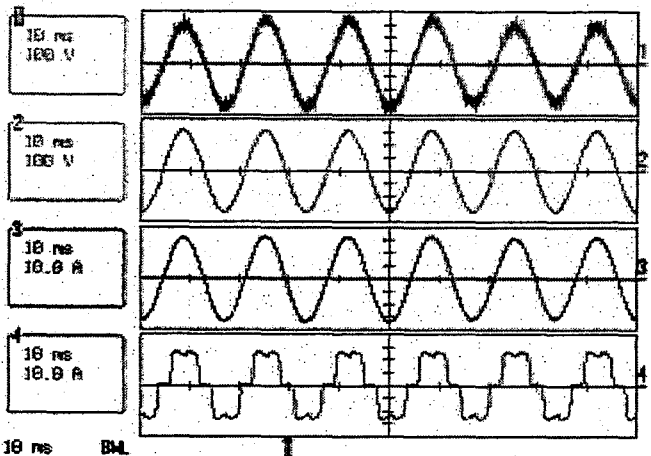


그림 17 전원전압 15% Swell시(63% 비선형부하)  
Fig. 17 15% Swell of source voltage(63% nonlinear load)

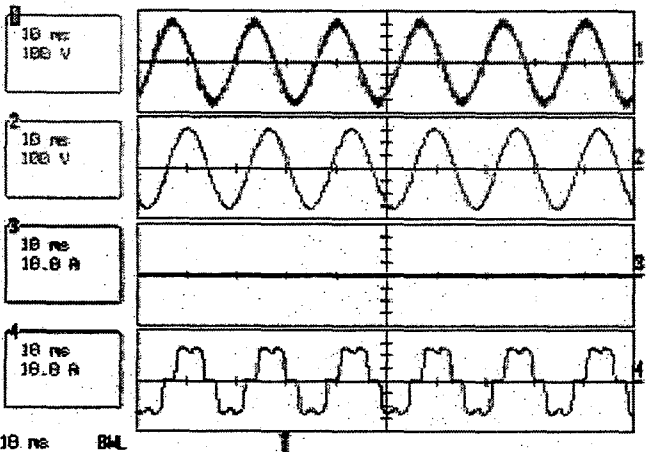


그림 18 B상 전압 10° Phase Jump시(63% 비선형부하)  
Fig. 18 10° jump of B phase voltage(63% nonlinear load)

그림 16, 17, 18의 결과들로부터, Delta 변환 UPS 시스템은 15% 범위내의 전원전압의 Sag나 Swell시에

도 만족스런 동작 특성을 보여주는 것을 알 수 있다.

### 4. 결 론

본 논문에서는 특별히 최근에 들어 각광을 받고 있는 델타변환 방식의 3상 라인 인터랙티브 UPS 시스템의 성능 시험 결과에 대한 소개 및 평가를 하였다. 여기서는 UPS 시스템의 성능 시험에서 중요한 내용들인 부하시험, 정전/복전시험, 동기절체 시험 등에 대한 결과들을 제시하고 델타변환 UPS 시스템에 대한 전반적인 평가를 하였다.

이 논문은 한국과학재단 지정 순천향대학교 차세대BIT 무선부품연구센터(20040179)와 (주)이화전기의 연구비 지원에 의한 것입니다.

### 참 고 문 헌

- [1] W Edward Reid, "Power Quality Issues- Standard and Guidelines," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 32, pp.625-632, May/June 1996.
- [2] Understanding Power Quality Problems,
- [3] Shri Karve, "Three of a Kind UPS topologies, IEC standard," IEE Review, vol. 46, Mar. 2000, pp.27-31.
- [4] Bekiarov, S.B.; Emadi, A."Uninterruptible Power Supplies: Classification, Operation, Dynamics, and Control," in Proc. APEC' 2002, pp.597-604.
- [5] Jinn-Chang Wu and Hurng-Liahng Jou, "A New UPS Scheme Provides Harmonic Suppression and Input Power Factor Correction," IEEE Trans. Ind. Electron. vol. 42, Dec. 1995, pp.629-635.
- [6] G. Joos, Y. Lin, and et al. "An ON-line UPS with Improved Input-Output Characteristics," in Proc. APEC'92,1992 pp.598-605.
- [7] Soren Rathmann and Henry A. Warner, "New Generation UPS Technology, The Delta Conversion Principle," in Proc. IEEE IAS Annu. Meeting 1996 pp.2389-2395.
- [8] Farrukh Kamran and Thomas G. Habetler, "A Novel On-line UPS with Universal Filtering Capabilities," IEEE Trans. Power Electron., vol. 13, May 1998, pp.410-418
- [9] S.A.O. da silva, and et al. "A Three-phase Line-interactive UPS System Implementation with series-parallel Active Power-Line Conditioning Capabilities," IEEE Tran. Ind. Applicat. vol.38 Nov./Dec. 2002, pp.1581-1590.
- [10] 설승기 "전기기기 제어론", 브레인 코리아.