

## 리튬 배터리를 연계한 100kVA UPQC 개발 및 성능시험

(The Development and Experimental Evaluation of 100kVA Unified Power Quality  
Conditioner interconnected to the Li-Battery System)

이학주\* · 채우규 · 박중성 · 손진만 · 최은식

(Hak-Ju Lee · Woo-Kyu Chae · Jung-Sung Park · Jin-Man Sohn · Eun-Sik Choi)

### Abstract

This paper propose the advanced topology of UPQC, its DC link is connected with Lithium battery, to compensate the momentary interruptions. The proposed system can be operated as UPS mode using the parallel inverter, which control the charge or discharge of battery, in case of the interruption. We develop 100kVA UPQC using the proposed topology to rise the power quality and the reliability of Microgrid. We verify its usefulness through voltage compensation test, UPS operation test and etc. using Microgrid test facility.

Key Words : Unified Power Quality Conditioner, Uninterruptible Power Supply, Series & Shunt Inverter, Dynamic Voltage Restorer, Active Power Filter

### 1. 서 론

마이크로그리드는 다수의 분산전원이 수용가의 다양한 요구에 따라 정상 시 전력계통과 연계운전에 의해 발전량과 전력조류를 제어하며, 전력계통에 사고가 발생할 경우 계통과 분리하여 단독운전으로 전력품질과 공급 신뢰도를 개선하는 새로운 형태의 전력공급 시스템이다. 이러한 마이크로그리드가 계통과 연계되어 운전할 때는 부하변동에 따른 영향은 크게 없지만,

단독으로 운전하는 경우 마이크로그리드 내부의 분산전원이 부하변동을 감지하여 각자의 출력량을 변동시켜야 하는데 이 때 분산전원의 출력이 주파수, 전압 등의 안정도와 전력품질에 직접적으로 관련되기 때문에 분산전원의 협조제어가 매우 중요한 이슈이며, 공급 가능한 에너지가 마이크로그리드 내부로 제한되기 때문에 에너지 효율개선을 위한 다양한 제어와 전력계통 안정화 및 고품질 전력공급을 위한 다양한 대책이 필요하다[1-2].

이에 능동전력필터(Active Power Filter), 동적전압보상기(Dynamic Voltage Restorer), 배전용 무효전력보상장치(DSTATCOM), UPQC(Unified Power Quality Conditioner)와 같은 Custom Power 기기가 필요하게 된다. 이 중에서 UPQC는 직렬, 병렬인버터가 직류 커패시터를 공유하는 구조로 배전선로의

\* 주(교신)저자 : 한전 전력연구원 선임연구원  
\* Main(Corresponding) author : Korea Electric Power  
Research Institute, KEPCO Senior Researcher  
Tel : 042-865-5982, Fax : 042-865-5944  
E-mail : juree@kepri.re.kr  
접수일자 : 2012년 8월 31일  
1차심사 : 2012년 9월 14일, 2차심사 : 2012년 9월 18일  
심사완료 : 2012년 9월 20일

PCC (Point of Common Coupling)에 위치하여 전압 변동, 고조파 보상을 통해 계통의 안정적 운영을 도모한다[3-5]. 하지만 커패시터를 공유하는 형태는 순간 정전 등의 정전이 발생할 경우 보상을 할 수 없기 때문에 별도의 무정전전원장치가 필요하다[6]. 이러한 단점을 보완하기 위해 본 논문에서는 마이크로그리드의 전력품질 향상을 위하여 직류 링크단에 배터리를 공유하는 새로운 형태의 UPQC에 의해 정전보상이 가능한 시스템을 제안하였다. 또한 100kVA의 시스템을 개발하고, 시스템의 성능시험을 제시하였다.

## 2. UPQC 설계

### 2.1 제안한 UPQC 시스템

일반적인 UPQC는 직렬인버터(Series Inverter)와 병렬인버터(Shunt Inverter)가 직류 커패시터를 공유하는 형태로, 직렬인버터는 전원측과 PCC 사이에 주입변압기를 통해 직렬 연결되어 전압원 형태의 전압 조정기로 동작하여 DVR과 같이 순간 전압강하, 순간 전압상승, 전압고조파를 보상한다. 또한, 병렬인버터는 능동 전력필터와 같이 전류고조파, 무효전력을 보상한다.

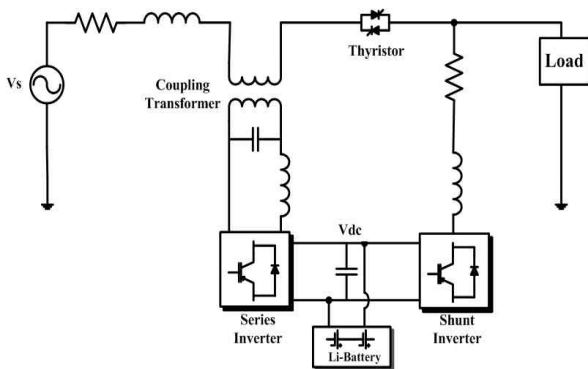


그림 1. 제안한 배터리 연계형 UPQC 시스템  
Fig. 1. The Proposed UPQC System interconnected to the Li-Battery

그림 1은 본 논문에서 제안한 UPQC의 구조이다. 제안한 시스템은 독립운전 모드에서 직렬인버터를 사용

하지 않고, 사이리스터에 의해 바이패스되어 부하에 전력을 공급하고 병렬인버터는 배터리에 충·방전, 고조파 및 무효전력을 보상하게 된다. 또한 정전 시 병렬인버터는 배터리의 에너지를 방전, 계통에 전력을 공급한다. 이러한 UPQC는 DC-DC 컨버터를 별도로 사용하지 않기 때문에 구조가 간단하고, 마이크로그리드의 독립운전 시에 신재생에너지와 배터리의 협조제어에 의해 부하에 보다 안정적, 효율적으로 전력을 공급할 수 있다.

마이크로그리드용 UPQC의 병렬인버터는 정상적인 선로운전 조건에서 전류고조파 제거, 무효전력보상, DC링크 전압제어 등을 수행하게 되며, 분산전원 연계 운전 시에는 선로의 전력조류제어까지 담당하게 된다. 기존의 UPQC에서는 보상이 이루어지지 않았던 선로의 순간정전과 같은 외란사고 발생 시에는 독립운전 모드로 동작하여 에너지 저장장치와 분산전원으로부터 부하에 유효전력을 공급하게 된다. 또한 배터리를 이용한 신재생에너지와의 Smoothing 기능이 가능하여 마이크로그리드의 독립운전모드에서 신재생 에너지 출력에 따라 배터리 충·방전 제어로 에너지 효율 향상과 시스템에 유연성을 제공한다.

### 2.2 UPQC 제어기 설계

#### 2.2.1 병렬 인버터의 제어

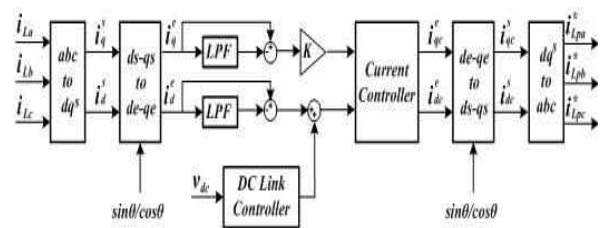


그림 2. 병렬인버터의 제어 블록도  
Fig. 2. Control block Diagram of Shunt Inverter

마이크로그리드용 UPQC의 병렬인버터 제어는 연계운전모드(paralleling mode)와 순간정전과 같은 외란사고 시 병렬인버터 단독으로 부하에 전력을 공급하는 독립운전모드(islanding mode) 제어로 나눌 수

있다. 에너지저장장치와의 연계운전모드에서는 병렬 인버터에 의해 선로의 전류고조파와 무효전력 보상을 위한 제어와 DC 링크 전압제어를 수행하게 된다. 그림 2는 UPQC의 병렬인버터를 제어하기 위한 제어구조를 나타낸다[7-9].

이러한 병렬인버터 제어는 동기좌표 상에 커플링된 전류제어를 기초로 하고 있으며, PI제어기를 이용한다. 전류제어를 하기위하여 3상의 전압, 전류를 아래의 식 (1), (2)와 같이 dq 변환한다.

$$V_{de} = L \frac{d}{dt} I_{de} - \omega L I_{qe} + R I_{de} + E_{de} \quad (1)$$

$$V_{qe} = L \frac{d}{dt} I_{qe} + \omega L I_{de} + R I_{qe} + E_{qe} \quad (2)$$

제어기의 전항성분 보상에 의해 식 (1), (2)의 외란 성분인  $-\omega L I_{de}$ ,  $+\omega L I_{qe}$ ,  $E_{de}$ ,  $E_{qe}$ 을 제거한다. 또한, 로 외란 성분을 제거하기 위하여 컨트롤러 측에 전항 보상성분으로 외란 성분을 제거하게 된다. 또한 APF의 역할을 수행하기 위해 회전좌표계로 변환된 부하 전류는 기본파(60Hz) 성분을 추출하여 인버터가 보상해야 할 회전좌표계의 전류 지령치를 생성한다. 전류제어기를 통해 출력되는 전압값을 이용, dq 역변환에 의해 PWM 신호를 생성한다.

### 2.2.2 직렬 인버터의 제어

직렬인버터는 선로의 전압외란 Sag, Swell등 전압 전압이 검출 기준전압과 다른 경우 이를 보상 하는 것을 주목적으로 한다. 그림 3은 직렬인버터의 제어구조를 보여준다. 정상성분 전압 기준과 현재 전원전압과의 오차를 제어기를 거쳐 전류제어기의 연산을 거쳐 인버터의 스위칭 신호를 결정한다[8-9].

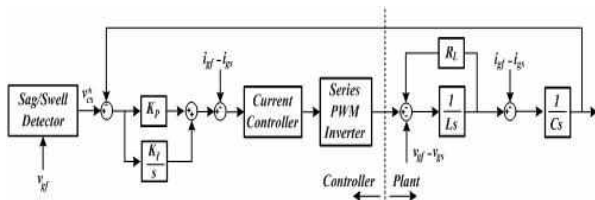


그림 3. 직렬인버터의 제어 블록도  
Fig. 3. Control block Diagram of Series Inverter

### 3. UPQC 설계 및 제작

그림 4는 전력연구원의 마이크로그리드 실증사이트에 적용된 UPQC이다. 이 시스템은 50kW의 리튬배터리가 DC 링크단에 연결된 구조로 직렬인버터와 병렬인버터는 3상 폴브리지로 구성하였다. 변압기의 병렬 변압비는 380V : 280V로  $\Delta$ -Y, 직렬 변압비는 103V : 280V의  $\Delta$ -Open Y로 구성하였으며, 인버터 출력단의 스위칭 리플을 감소를 위해 LC필터를 사용하였다.



그림 4. 100kVA/30kVA UPQC 시스템  
Fig. 4. 100kVA/30kVA UPQC System

또한 직렬인버터에서 보상할 수 있는 순간 전압강하, 전압상승은 계통 상전압의 30%이며, 계통선로와 100kVA급 병렬변압기로 연계되어 유효전력 제어를 통한 배터리 충전, 무효전력제어를 통한 역률제어 및 전압보상, 무정전 전원장치 기능을 수행하도록 개발하였다. 본 논문에서 개발한 UPQC의 병렬 인버터의 정격용량은 100kVA이며, 직렬인버터는 정격전압의 30%에 대한 전압보상이 가능하도록 용량을 30kVA로 설정 하였다. 이에 직렬용 IGBT는 배터리의 최소 전압을 고려하여 1200V/300A, 병렬용은 1200V/330A를 사용하였다. 또한 계통과 직렬로 연결된 3상 사이리스터의 Static Switch는 정전 등 전력계통 사고 시에 마이크로그리드가 계통과 신속하게 분리되어 UPQC의 병렬 인버터가 무정전 전원장치로 동작하도록 구성하였다. 표 1은 본 논문에서 제안한 UPQC의 파라미터이다.

표 1. UPQC 시스템 파라미터  
Table 1. System Parameters of UPQC

구분	Series INV.	Shunt INV.
정격용량	30kVA	100kVA
정격전류	53A	152A
L 용량	0.9mH	0.3mH
C 용량	10uF	150uF
변압기	280V:103V( $\Delta$ - Open Y)	280V:380V( $\Delta$ - Y)
Static Switch	-	SKKT 172/14E
스위칭 주파수	10kHz	4kHz

UPQC에 사용되는 제어기는 외부루프에 전압, 전력 제어기를 사용하고 내부 루프에는 전류제어기를 사용하는 이중루프 구조이고 병렬인버터의 경우 4kHz 스위칭 주파수, 직렬인버터의 경우 10kHz의 스위칭 주파수를 사용하므로 짧은 샘플링 타임동안에 고성능의 신호처리 프로세서를 필요로 한다. 또한 H/W는 제어보드, 파워보드, 외부 접점 입출력의 IO 보드, 제어에 필요한 아날로그 신호 검출부인 인터페이스 보드, SCR 구동 보드로 구성되어 있다.

제어보드는 TMS320F28335 DSP를 사용하여 CPU 초기 설정, 운영 시퀀스 및 제어 알고리즘을 코딩 가능하며, 파워보드는 제어보드, IGBT 게이트 드라이버 전원, SCR 구동전원 및 IO 절연 전원을 공급한다.

IO 보드는 릴레이 구동 및 접점 입력 회로 및 CAN과 RS-485통신 회로로 구성하고, 인터페이스 보드는 DC링크 전압과 인버터 상전류 검출, 배터리 전압 및 전류 검출, 계통 상전압 및 상전류를 검출한다. SCR 보드는 사이리스터를 구동하기 위한 드라이브 회로를 구성하였다. 또한 그림 5와 같이 UPQC 시스템의 운전 시퀀스를 보완하였다. 메인 루프는 시스템의 설정, 통신 및 키패드와 같은 보조 입출력 장치의 제어 알고리즘으로 구성되어 있으며 인터럽트를 위한 무한 루프를 가지고 있어 UPQC 보호와 제어기능을 수행한다.

인터럽트의 보호기능은 계통 입력전압과 PWM 인버터 전압과 전류, DC링크 전압, 전류의 이상을 판단하고 상태에 따라 적합한 보호기능을 실시간으로 수행한다. 또한 제어기능은 독립운전과 연계운전으로 구성되어 마이크로그리드의 EMS지령에 의해 전압보상모드, Auto P.F 등 다양한 제어기능을 수행할 수 있도록 개발하였다.

#### 4. UPQC 성능시험 결과

본 논문에서는 직렬인버터와 병렬인버터로 구성된

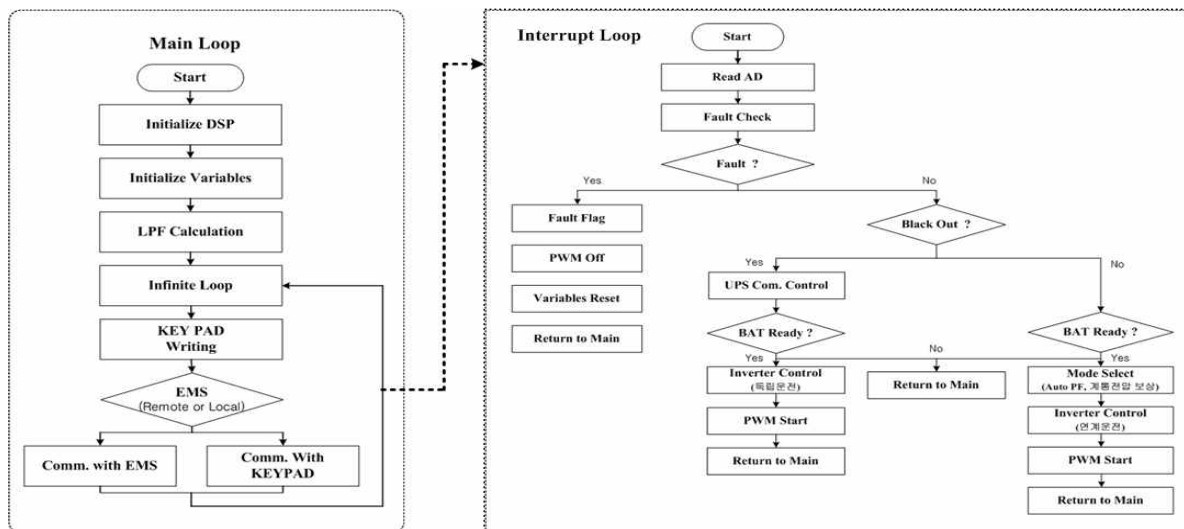


그림 5. UPQC 운전 시퀀스  
Fig. 5. Operation Sequence of UPQC

어진 다기능 전력품질 보상장치에 의해 순간전압강하(Sag), 순간전압상승(Swell)은 0.5초에서 1분 동안 지속되는 계통 입력전압의 순간 전압변동을  $\pm 30\%$ 까지 보상하고, 계통의 부하와 기기의 비선형적인 특성에 의해 발생하는 고조파는 전류 THD의 감소를 통해 계통 품질을 보상한다. 또한 부하의 무효전력을 보상하는 기능과 에너지저장장치가 연계될 경우에 계통의 정전사고 발생 시 무정전전원장치로 동작해야 하는 점을 고려하여 마이크로그리드 실증사이트의 최적운전을 위한 성능시험을 하였다.

#### 4.1 UPS 모드

계통에서 정전발생시 전로의 SCR은 계통과 부하를 차단하기 위해 OFF되고 직렬 인버터의 스위칭 동작은 멈춘다.

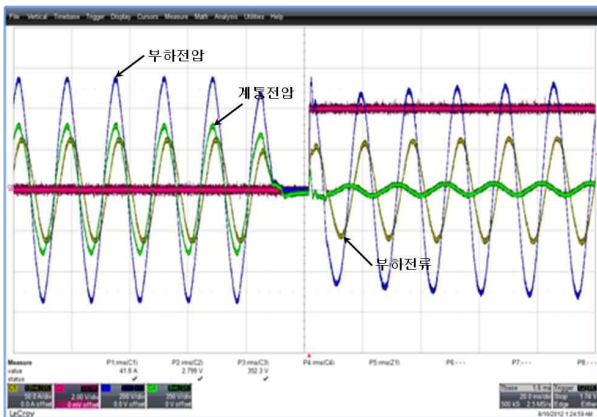


그림 6. 75kW 부하연계 시 UPS모드 시험결과  
Fig. 6. UPS mode with 75kW Load

병렬 인버터는 UPS모드로 동작되어 부하전압을 일정하게 공급하며 연계운전에서 독립운전으로 변경된다. 본 논문에서는 부하가 10kW, 30kW, 75kW가 연결된 상태에서 진행하였으며, 모두 10ms 이내에 UPS 모드전환을 확인하였다. 그림 6은 75kW의 부하연계시 시험결과이다.

또한 복전모드의 경우 UPS 모드 전환 후 계통으로부터 정상적으로 전력공급이 되면 SCR은 계통과 부하를 연결하기 위해 ON되어 연계운전으로 전환된다.

이를 위해 계통전압과 부하전압의 위상 동기화 체크는 필수적이다. UPS 모드 중에 계통이 복전되어도 상위 마이크로그리드 EMS 지령에 의해 계통과 부하의 위상 동기화를 체크하고 정상적으로 SCR이 ON되어 정확한 복전이 이루어져 연계모드의 안정화를 유지할 수 있다. 본 시험은 UPS 모드 후 계통이 복구 되었을 때 EMS 지령에 따라 부하 용량별 10kW, 30kW, 75kW가 연결된 상태에서 위상동기 체크 후 정확한 복전이 이루어지고 있음을 시험을 통해 확인하였다. 그림 7은 75kW 부하가 연계된 상태에서의 시험결과이다.

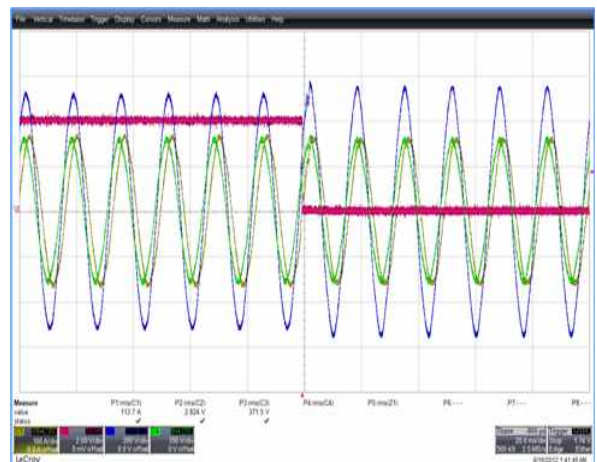


그림 7. 75kW 부하 연계시 복전모드 시험결과  
그림 7. Voltage Restoration with 75kW Load

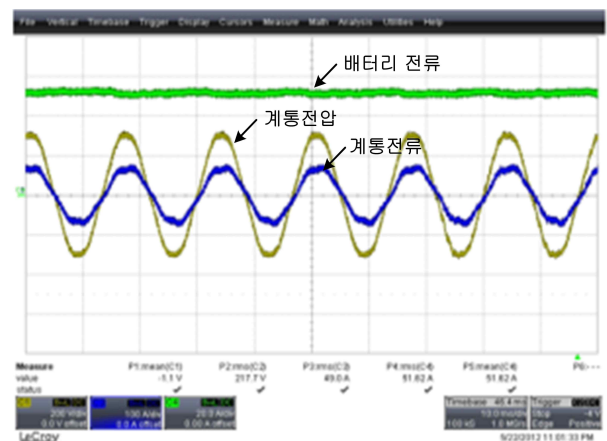


그림 8. 배터리 충전시험  
Fig. 8. Battery Charge Test



그림 8은 배터리 전압제어기의 출력을 제한하여 원하는 충전 전류값을 계통 재투입 이후 50A 지령에 따른 배터리 및 계통의 전류 파형이다. 여기서 계통전압과 계통전류가 일치하여 역률이 1로 운전됨을 확인함으로써, 방전 중지전압에 가까울수록 배터리는 일정 전압모드로 전환됨을 확인할 수 있다.

#### 4.2 자동 역률제어

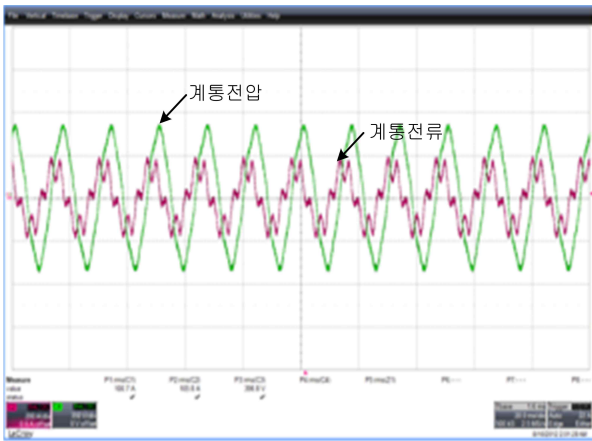


그림 9. 자동 역률제어 (제어 이전)  
Fig. 9. Auto Power Factor Control(Before Control)

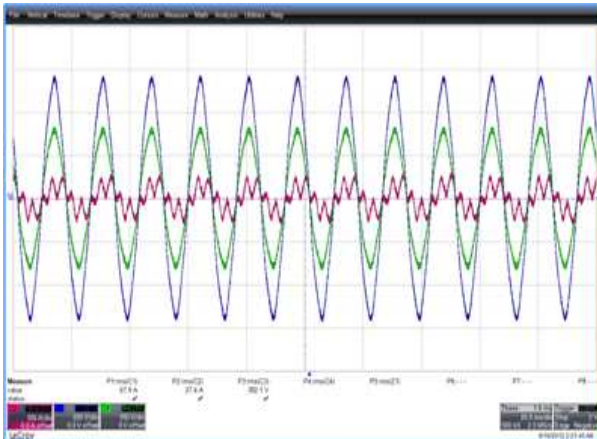


그림 10. 자동 역률제어 (제어 이후)  
Fig. 10. Auto Power Factor Control(After Control)

지상/진상 부하일 때 전류가 전압보다 뒤쳐지거나 앞서게 되며 이에 따라 발생하는 역률을 자동으로 병렬인버터에서 보상하여 계통의 전압과 전류가 동상이

되도록 한다. 본 시험은 모의부하를 이용하여 60kVar의 C성분과 L성분을 각각 계통에 주입하여 역률 0.95 이상의 보상범위를 확인하였다. 여기서, 그림 9는 C성분을 60kVar 주입한 경우 역률제어 이전 파형이며, 그림 10은 제어 이후의 파형이다.

#### 4.3 전압보상

그림 11은 전압보상모드에서는 계통전압의 변동범위가  $\pm 10\%$ 인 경우 일정 전압으로 보상한 결과이다. 시험결과 응답속도 400ms 이내에 일정 전압으로 유지함을 확인할 수 있다.

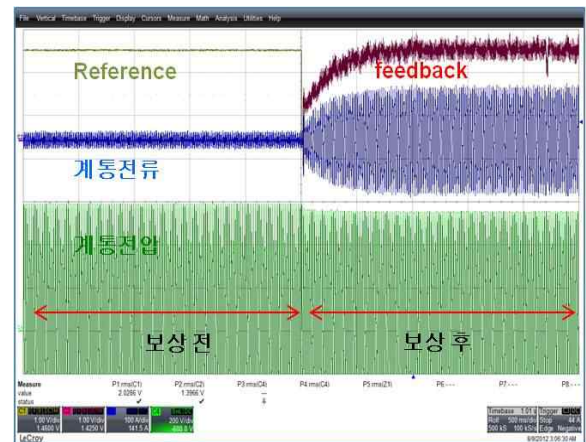


그림 11. 전압보상 시험 1  
Fig. 11. Voltage Compensation 1

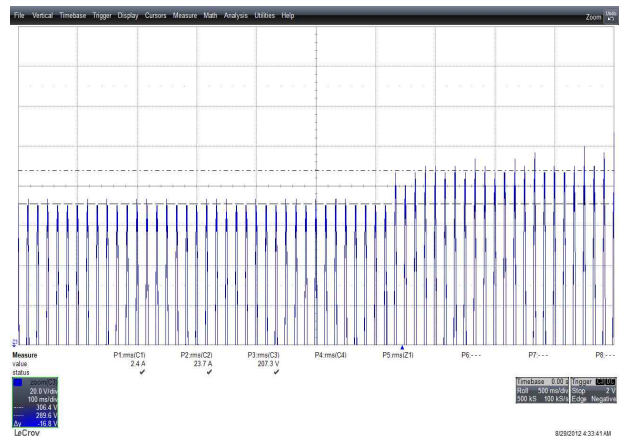


그림 12. 전압보상 시험 2  
Fig. 12. Voltage Compensation 2

또한 실증 사이트의 전압변동 폭이 실제로는 작아 전압보상 가능 범위를 시험하기 위해 시뮬레이터의 용량을 고려하여 계통 전압 -5%, -10%로 감소되었을 때 정상전압으로 보상을 시험하였다. 따라서 계통 전압을 380V로 가정하고 -4.6%인 363.2V( $\Delta 16.8V$ )가 380V로 정상 보상을 그림 12로 확인하였으며, 계통 전압을 380V로 가정하고 -11%인 341.5V( $\Delta 38.5V$ )가 380V로 정상 보상을 확인하였다.

#### 4.4 능동 전력필터

비선형 부하로 인해 계통에 발생된 고조파 전류의 감소를 통해 전력 품질을 보상한다. 이 시험은 모의부하를 구성하여 계통에 발생하는 고조파 전류를 측정하고 병렬 인버터에서 반대의 전류를 주입하여 고조파가 제거되도록 시험을 진행하였다. 그림 13은 시험을 위한 모의부하 구성을 보여주고 있다.

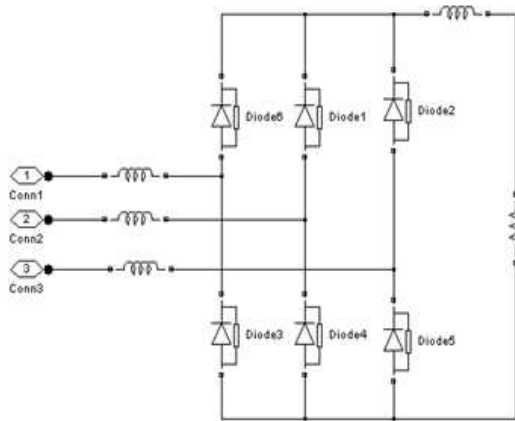


그림 13. 모의부하 구성(외부 L:0.3mH, 내부 L:1mH)  
Fig. 13. Simulated Load Configuration

그림 14에서는 부하전류에 병렬 인버터의 보상전류를 주입하여 계통전류의 보상을 통해 제어기 설계를 검증하였다.

그림 15와 같이 UPQC를 계통에 연계하여 운전할 경우 인버터 출력단의 필터캡 용량에 의해 실제 THD 보상범위(THD 22% => 13%)가 한정적이며, 다른 제

어모드에 영향을 줌으로써 능동전력필터 기능과 복합적인 수행에 어려움이 있다.

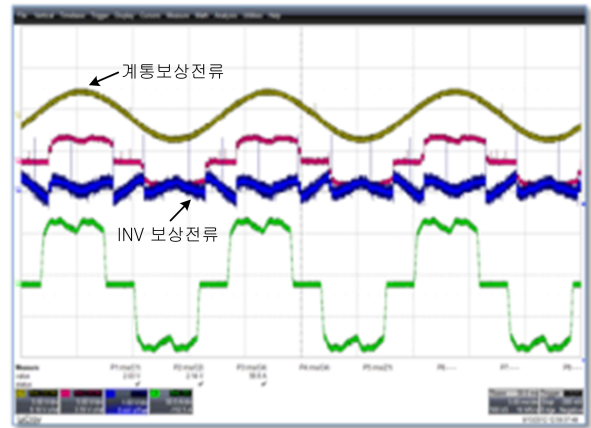


그림 14. 병렬인버터의 제어특성 시험  
Fig. 14. Control Test of Shunt Inverter

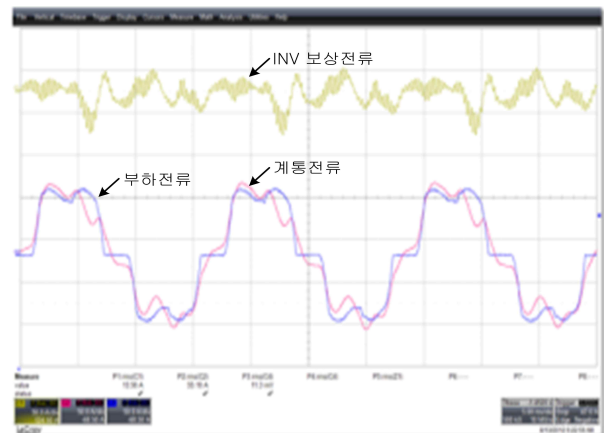


그림 15. 능동전력필터 시험  
Fig. 15. Active Power Filter Test

#### 4.5 Sag/Swell 보상

정격주파수 기준으로 반주기에서 1분 정도의 전압강하/상승이 발생됨에 따라 이로 인해 선로사고, 부하의 이상 동작 등의 원인이 됨으로 계통의 순간적인 전압변동을 직렬 인버터를 이용하여 보상한다. 그림 16과 그림 17의 결과는 Source 시뮬레이터를 이용하여 순간적으로 전압을 강하/상승시켜 부하전압이 일정하게 보상됨을 확인할 수 있다.

그림 16은 약 532Vp(=380Vrms\*1.4)의 계통 전압(200V/div)이 유지되다가 30%(=372V)의 순간적인 전압강하가 발생되며, 이때 부하전압(350V/div)이 일정하게 유지됨을 볼 수 있다. 그림 17은 순간 전압상승의 계통전압과 부하전압을 측정된 파형이다.

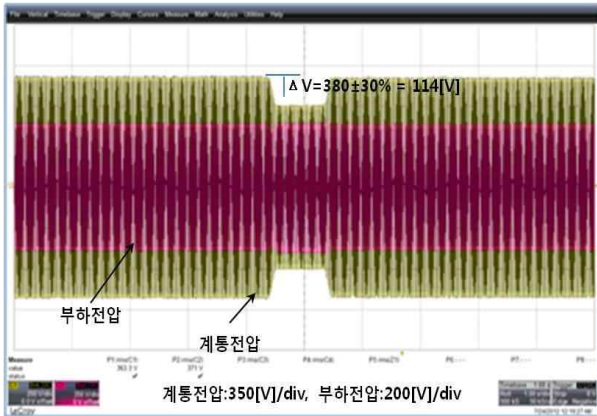


그림 16. 순간 전압강하 보상 시험  
Fig. 16. Voltage Sag Compensation

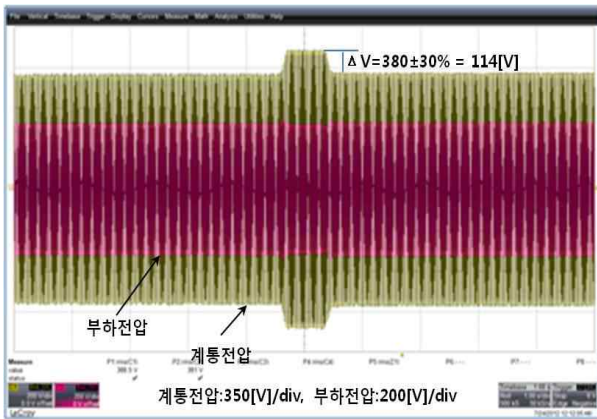


그림 17. 순간 전압상승 보상 시험  
Fig. 17. Voltage Swell Compensation

## 5. 결 론

고품질의 전력을 요구하는 부하의 등장과 확산으로 인해 전력품질에 대한 관심이 커지고 있으며 각종 외란으로부터 안정된 전력공급을 위해 각종 전력품질 향상 기기의 개발이 이루어지고 있다. 또한 순간정전과 같은 외란사고에 대해서 부하에 그대로 전해지는

막대한 손실을 예방하고자 배터리에 저장하고 있던 에너지를 계통에 공급함으로써 부하에 연속적인 전력 공급이 가능하도록 본 논문에서는 에너지 저장장치인 50kWh Li 배터리를 연계한 UPQC 시스템을 개발하고, 성능시험 결과를 제시하고 있다.

본 논문에서 제안한 시스템은 향후 마이크로그리드의 운용기술 확보에 적용 가능할 것으로 기대되고 있다. 따라서 제안한 시스템의 마이크로그리드 적용을 위해서 운영시나리오와 UPQC 출력특성 향상을 위한 제어 알고리즘의 지속적인 개발이 필요할 것이다.

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 2010T100200161).

## References

- [1] Il Yop Chung, "Control Technology & Energy Management System for Microgrid", Journal of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol.57, No.10, pp.35-42, October 2008.
- [2] HakJu Lee, "Construction of Grid-Connected MicroGrid Test Site and Development Operation Technology", KEPCO R&D Mid-Trem Report, 2012.1
- [3] Khadkikar; et al, "Conceptual Study of Unified Power Quality Conditioner", Industrial Electronics, 2006 IEEE International Symposium on Vol.2, pp.1088-1093, 2006.
- [4] Khadkikar,V., "Enhancing Electric Power Quality Using UPQC : A Comprehensive Overview", IEEE Trans. on Power Electronis, Vol. 27, No. 5, pp.2284-2297, 2012.
- [5] C. Benachaiba; et. al, "Smart Control of UPOC within Microgrid Energy System", Energy Procedia, Vol. 6, pp.503-512, 2011.
- [6] Khadem,S.K.; et. al, "Integration of UPOC for Power Quality Improvement in Distributed Generation Network-A Review", Innovative Smart Grid Technologies, 2011, 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on, pp.1-5, 2011.
- [7] Iurie Axente; et. al, "Development of a 12kVA DSP-Controlled Labratiry Prototype UPOC", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 25, No.6, pp.1471-1479, 2010.
- [8] HeeJung Kim; et al, "Performance Analysis of UPOC with Compensation Capability for Voltage Interruption", The Transaction of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol.52, No.5, pp. 279-286, May 2003.
- [9] HeeJung Kim; et al, "Performance Analysis for the UPOC Interconnected to the Distributed Generation System", The Transaction of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol.53, No.3, pp.152-160, March 2004.



◇ 저자소개 ◇



**이학주 (李鶴周)**

1966년 12월 5일생. 1989년 충남대학교 전기공학과 졸업. 1991년 충남대학교 전기공학과 졸업(석사). 2003년 충남대학교 전기공학과 졸업(박사). 1995년~현재 한전 전력연구원 선임연구원.



**채우규 (蔡又圭)**

1977년 4월 22일생. 2004년 성균관대학교 전기공학과 졸업. 2007년 충북대학교 전기공학과 졸업(석사). 2004년~현재 한전 전력연구원 선임연구원.



**박중성 (朴重城)**

1978년 4월 17일생. 2004년 홍익대학교 전자전기공학부 졸업. 2006년 홍익대학교 전기공학과 졸업(석사). 2006~2010년 효성 중공업연구소 선임연구원 2010년~현재 한전 전력연구원 연구원.



**손진만 (孫晉滿)**

1970년 10월 1일생. 1990년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1994년 서울대학교 전기공학과 졸업(석사). 2006년 서울대학교 전기공학부 졸업(박사). 현재 LS산전 스마트그리드 연구단 수석연구원.



**최은식 (崔殷植)**

1984년 4월 30일생. 2009년 단국대학교 전기전자컴퓨터공학부 졸업. 2011년 과학기술연합대학원대학교 에너지변환 공학과 졸업(석사). 현재 LS산전 스마트그리드 연구단 연구원.