

비선형 부하를 고려한 배전용 정지형 보상기의 전류제어 기법

논문

58-7-13

Current Control Method of Distribution Static Compensator Considering Non-Linear Loads

김 동 근* · 최 중 우† · 김 흥 근**

(Dong-Geun Kim · Jong-Woo Choi · Heung-Geun Kim)

Abstract - DSTATCOM(distribution static compensator) is one of the custom power devices, and protects a distribution line from unbalanced and harmonic current caused by non-linear and unbalanced loads. Researches about DSTATCOM are mainly divided two parts, one is the calculation of compensated current and the other part is the current control. This paper proposes a proportional-resonant-repetitive current controller. Improved performance of instantaneous power compensation has been shown by simulations and experiments.

Key Words : DSTATCOM, Current controller, P+Resonant controller, Repetitive controller.

1. 서 론

전력품질에 영향을 주는 현상들은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 전력의 공급신뢰성에 영향을 주는 정전이고, 두 번째는 공급되는 전력의 질을 저하시키는 고조파(harmonics), 순간 전압 상승/강하(voltage swell/sag), 전압 또는 전류의 불평형(unbalance), 전압변동과 플리커(voltage fluctuation/flicker) 그리고 전압 노치(voltage notch) 등이 있다. 이러한 현상들은 아주 짧은 시간동안 발생하더라도 병원의 생명유지 장치나 기타 의료장비, 반도체나 제철공장 등의 연속 제조 공정기기, 중요한 자료를 보관하는 데이터 백업센터(Data backup center)의 전산기와 같은 전력품질에 민감한 기기에 치명적인 결과를 초래한다. 이러한 막대한 피해를 끼치는 전력품질에 영향을 주는 현상들은 여러 가지 원인에 의해 발생되는데 낙뢰, 강풍 혹은 사람의 실수에 의한 송·배전 선로사고가 그 첫 번째 원인이고, 두 번째 원인으로서는 급격한 산업화와 정보화를 들 수 있다. 최근 급격한 산업화와 정보화로 산업기기, 정보통신기기 사용이 증가하였는데 이러한 기기들 중 전기철도나 전기기와 같은 대용량 단상 부하나 거의 모든 정보통신기기의 전원장치로 사용되는 전력전자 기술을 바탕으로 한 전력변환 장치들은 고조파, 노치 등을 발생하여 전력품질을 저하시키는 원인이 되기도 한다[1-2].

이런 상황으로 인해 수용가들은 좀 더 좋은 품질의 전력을 공급받기를 원하였고, 또 자신의 기기들에 의해 계통전원의 전력품질이 저하되지 않도록 규제를 받았다. 이러한 이유

에서 전력품질의 이상으로 발생하는 문제를 해결하기 위한 기기의 연구와 개발이 진행 되었다.

전력품질 개선용 전력전자 기기들은 유연 송전 시스템(flexible AC transmission system)이라 불리는 송전용 기기들과 주문형 전력 기기라 불리는 배전용 기기들로 나눈다. 송전용 기기는 정격전압과 정격전류의 제한으로 인해 발전 속도가 상대적으로 더딘 반면 배전용 기기들은 전력 전자기술의 발전과 더불어 활발한 연구가 진행되고 있다[3].

배전용 전력품질 향상용 전력전자 기기는 유연 송전용 제어기와 마찬가지로 전력전자 기술을 이용하여 배전선로에서 공급되는 전력의 품질 및 안정도를 향상시키는 것이 목적이다. 배전용 전력품질 향상용 전력전자 기기의 종류로는 반도체 전류 제한기, 반도체 차단기, 반도체 선로 전환기 등의 반도체 스위치를 이용한 선로 재설정 기기와 인버터를 이용한 직렬형 보상기인 동적 전압 보상기(dynamic voltage restorer), 병렬형 보상기인 배전용 정지형 보상기 그리고 두 개의 보상기가 결합한 형태의 통합 전력품질 제어기(unified power quality controller) 등이 있다. 이중 배전용 정지형 보상기는 대용량 변동 부하, 비선형 부하로 인한 고조파 전류와 불평형 전류가 계통으로 유입되는 것을 보상함으로써 배전선로를 보호한다. 이러한 배전용 정지형 보상기에 관한 연구는 최근 들어 활발히 진행되고 있는데, 이 연구들은 크게 전원측과 부하측의 전압, 전류로부터 배전용 정지형 보상기의 전류 지령를 계산하는 부분[4-6]에 대한 연구와 실제 전류제어를 수행하는 부분에 관한 연구로[7-9] 나누어 진행된다.

본 논문에서는 배전용 정지형 보상기의 일반적인 구조와 제어 방법에 대해 기술한다. 그리고 비선형 부하를 고려하여 기존의 배전용 정지형 보상기 전류제어 기법의 문제점을 알아본다. 기존의 제어 기법과 제안된 제어 기법을 모의실험과 실험으로 비교하여 배전용 정지형 보상기의 기존 전류제어 기법과 제안된 전류제어 기법의 성능을 검토한다.

† 교신저자, 정회원 : 경북대 전자전기컴퓨터학부 부교수

E-mail : jwchoi@ee.knu.ac.kr

* 정 회 원 : LG전자 AC사업부 제어연구소 연구원

** 시 니 어 회 원 : 경북대 전자전기컴퓨터학부 교수

접수일자 : 2009년 1월 20일

최종완료 : 2009년 5월 19일

2. 본 론

2.1 배전용 정지형 보상기

그림 1은 배전용 정지형 보상기의 제어 구조이다. 부하측 3상 전류, 전원측 3상 전압, 그리고 직류단 커패시터의 전압을 측정하여 전압제어 과정을 거친 후, p-q이론을 통해 지령전류를 추출한다. 지령전류를 추종하기 위한 전류제어 과정을 거치면 지령전압이 생성되고, 지령전압은 인버터의 PWM에 의해 계통에 인가된다. 배전용 정지형 보상기의 제어과정은 크게 2가지로 나뉜다. 보상할 전류의 지령치를 p-q이론을 통해 지령전류를 계산하는 부분과 지령전류를 입력으로 받아 실제 전류를 제어하는 전류제어기 부분이다.

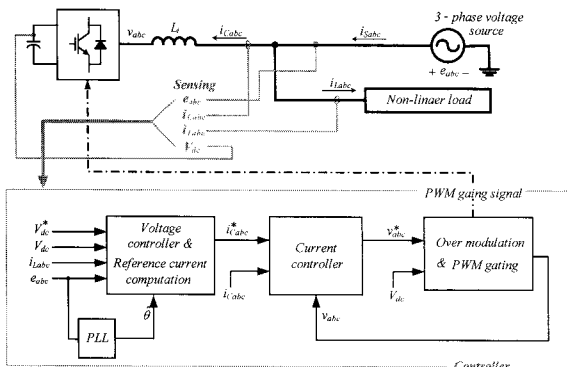


그림 1 배전용 정지형 보상기의 제어 구조
Fig. 1 Block diagram of Control for DSTATCOM

배전용 정지형 보상기의 전류 지령은 두 가지 성분으로 구성된다. 그 중 하나는 인버터의 직류 링크단 커패시터 전압을 일정한 동작점으로 유지하기 위한 전류 지령이고, 다른 하나는 전원측의 포함되어 있는 고조파 전류를 보상하기 위한 전류 지령이다.

2.2 배전용 정지형 보상기의 지령 전류

인버터의 직류단 커패시터 전압을 일정한 동작점으로 유지시켜야 하는 이유는 배전용 정지형 보상기가 배전계통의 전류를 보상하려면 계통으로 주입되는 보상 전류를 제어해야 하는데 그러기 위해서는 직류단 커패시터의 전압이 최소한 계통의 선간 전압과 보상시 결합 인덕터에서 발생하는 역기전력의 합보다 높아야 한다. 직류단 커패시터와 병렬로 연결된 별도의 전원장치가 없는 배전용 정지형 보상기의 경우에는 계통전원으로부터 직류단 커패시터 전압을 일정한 동작점이 되게 승압시키고 그 동작점이 유지하게 제어해야 한다.

전류 지령의 또 하나의 성분인 전원측에 포함되어 있는 고조파 전류를 보상하기 위한 전류 지령 계산 방법은 다음과 같다. 상전압과 부하 전류를 측정 할 수 있으면, 순시 무효전력 이론을 이용하여 부하측의 순시 유효전력과 순시 무효전력을 구 할 수 있다. 이렇게 구해진 부하측 순시 유효전력과 순시 무효전력으로부터 순시 유효전력의 맥동 성분과 순시 무효전력을 보상하기 위한 전류 지령을 계산한다.

그림 2는 배전용 정지형 보상기의 전류 지령 계산 블록도이다. 전원측 순시 무효전력을 보상하기 위해서는 부하측의

순시 무효전력과 부하가 반대인 값을 계통으로 주입하면 된다. 그리고 전압제어기의 출력에는 무효전력 성분이 없으므로 배전용 정지형 보상기의 보상 무효전력 지령은 식(1)과 같다.

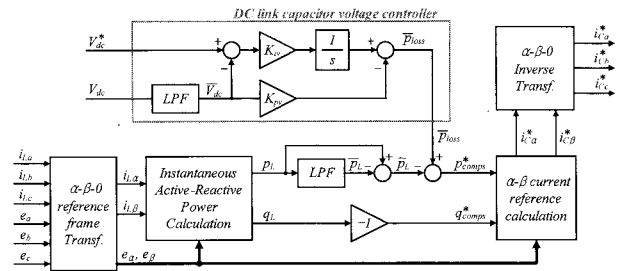


그림 2 배전용 정지형 보상기의 지령전류 계산 블록도
Fig. 2 Block diagram of reference current calculation for DSTATCOM

$$q_{comp}^* = -q_L \quad (1)$$

순시 유효전력의 맥동성분을 보상하기 위해서는 부하측의 순시 유효전력에서 평균 유효전력을 제외한 나머지 맥동 성분과 부하가 반대인 값을 계통으로 주입한다. 이 때 부하측 순시 유효전력으로부터 평균 유효전력을 구하기 위해 저역 통과 필터가 사용되는데, 1차 저역 통과 필터를 사용할 경우 순시 유효전력의 맥동 성분은 식(2)와 같다.

$$\tilde{p}_L = p_L - \bar{p}_L \quad (2)$$

여기서 순시 유효전력의 맥동 성분을 보상하기 위한 유효전력 지령 값과 직류단 커패시터 전압을 일정하게 유지하기 위한 유효전력 지령과의 관계에 대해 살펴보면, 배전용 정지형 보상기에는 전원으로부터 공급되는 전력 외에는 자체적인 전력 공급원이 없다. 따라서 순시 유효전력의 맥동 성분을 보상하게 되면 직류단 커패시터 전압은 보상하는 순시 유효전력의 맥동성분과 동일한 주파수로 맥동한다. 결국 배전용 정지형 보상기는 순시 유효전력의 맥동 성분을 보상하기 위해 직류단 커패시터 전압제어기가 맥동이 포함된 직류단 커패시터 전압으로부터 평균값만을 계산해 이를 일정한 동작점이 되게 제어하고, 저역 통과 필터를 이용해 맥동이 발생한 직류단 커패시터 전압으로부터 평균값을 계산했다. 배전용 정지형 보상기의 보상 유효전력 지령과 보상 무효전력 지령은 식(3)과 같이 나타난다.

$$\begin{bmatrix} p_{comp}^* \\ q_{comp}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\tilde{p}_L + \bar{p}_{loss} \\ -q_L \end{bmatrix} \quad (3)$$

보상 유효전력 지령과 보상 무효전력 지령은 식(4)의 역 변환식을 이용해 2상 좌표계 보상 전류 지령으로 계산된다.

$$\begin{bmatrix} i_{c\alpha}^* \\ i_{c\beta}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_\alpha & e_\beta \\ e_\beta & -e_\alpha \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} p_{comp}^* \\ q_{comp}^* \end{bmatrix} = \frac{1}{e_\alpha^2 + e_\beta^2} \begin{bmatrix} e_\alpha & e_\beta \\ e_\beta & -e_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{comp}^* \\ q_{comp}^* \end{bmatrix} \quad (4)$$

2.3 배전용 정지형 보상기의 기존 전류제어와 문제점

그림 3은 배전용 정지형 보상기의 전류제어 계통도이다. 기존 연구의 배전용 정지형 보상기에는 정지좌표계 비례 공진(proportional-resonant) 전류제어기를 사용하였다. 비례 공진 전류제어기의 전달함수는 식(5)와 같다.

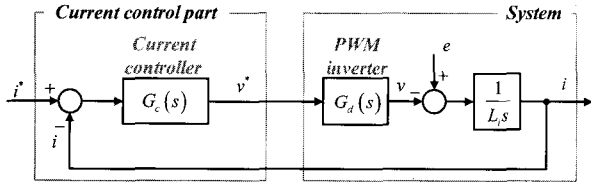


그림 3 배전용 정지형 보상기의 전류제어 블록도
Fig. 3 Block diagram of current control system for DSTATCOM

$$G_c(s) = K_{pc} + \frac{K_{rc}s}{s^2 + \omega_0^2} \quad (5)$$

비례 공진 제어기는 전체적으로 비례 제어기의 특성을 가지고 있고, 공진주파수에서 제어기 이득이 1이 되는 특성을 가진다. 따라서 동기좌표계 비례 적분(proportional-integral) 제어기로는 완벽하게 추종 할 수 없었던 특정 주파수의 전류 지령을 대역폭의 변화 없이 추종할 수 있다. 따라서 비례 공진 제어기는 부하가 3상 평형 또는 3상 불평형처럼 기본 파 외에 고조파가 없거나 고조파의 수가 적은 경우에 유용하다.

하지만 비선형 부하로 인해 부하 전류에 많은 수의 고조파가 포함될 때 비례 공진 제어기를 이용하면 각각의 고조파에 대한 보상기를 구성해야 한다. 전류에 포함된 고조파의 개수만큼 고조파 보상기가 병렬로 추가로 연결되어야 하고 이는 전류제어기를 복잡하게 만든다. 또한 전체 전류제어기의 전달함수 차수가 높아져 시스템을 수식적으로 분석하기 어렵다.

비례 공진 제어기는 식(6)과 같다. 고조파 개수만큼 고조파 보상기가 병렬로 추가되고, DSP(Digital Signal Processor)를 이용한 디지털 제어시 연산 시간이 증가하는 결과를 초래한다. 즉 비선형 부하를 통해 발생하는 모든 고조파를 비례 공진 제어기로 전부 보상하는 것은 현실적으로 불가능하다.

$$T_{PR}(s) = K_p + \frac{K_{r1}s}{s^2 + \omega_0^2} + \frac{K_{r2}s}{s^2 + (3\omega_0)^2} + \frac{K_{r3}s}{s^2 + (5\omega_0)^2} + \dots \quad (6)$$

2.4 배전용 정지형 보상기의 제안된 전류제어기

2.3 절에서 살펴본 것처럼 기존의 전류제어기를 사용하여 비선형 부하가 적용된 배전용 정지형 보상기를 제어하는 것은 하드웨어의 스위칭 주파수를 고려한 실험에서 한계가 있다. 이를 보완하기 위해 제안된 전류제어 기법은 그림 4와 같이 비례 공진 제어기에 병렬로 반복 제어기를 추가한 제어 시스템이다.

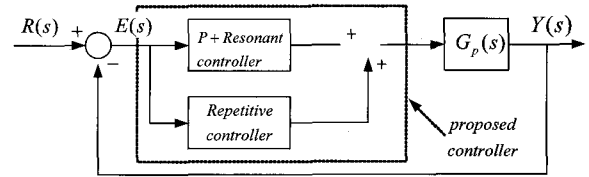


그림 4 배전용 정지형 보상기의 제안된 전류제어기
Fig. 4 Proposed current control system

제안된 전류제어기는 페루프 제어기인 비례 공진 제어기를 주제어기로 하고 반복 제어기를 부가하여 주제어기로 보상하지 못하는 오차를 보상하는 시스템이다. 즉 지령 전류의 기본파 제어는 주제어기인 비례 공진 제어기를 이용하고, 비선형 부하로 인해 생성된 다수의 고조파가 포함된 지령 전류는 반복 제어기로 제어를 하여 기존의 전류제어기들 보다 향상된 성능을 가진다. 식 (7)은 제안된 전류제어기의 전체 전달함수를 나타낸다. 여기서 K_p , K_r , K_{re} 는 각각 비례이득, 공진이득, 그리고 반복제어이득을 나타낸다.

$$T_{proposed}(s) = \frac{\left(K_p + \frac{K_r s}{s^2 + \omega_0^2} + \frac{K_{re} e^{-sT}}{1 - e^{-sT}} \right) \frac{1}{L_i s}}{1 + \left(K_p + \frac{K_r s}{s^2 + \omega_0^2} + \frac{K_{re} e^{-sT}}{1 - e^{-sT}} \right) \frac{1}{L_i s}} \quad (7)$$

그림 5는 제안된 전류제어기와 기존의 비례 공진 제어기에 3차 고조파 보상기를 추가한 전류제어기의 보드 선도를 나타낸다. 실선은 제안된 제어기를 점선은 기존의 제어기이다. 기존의 제어기는 기본파와 3차 고조파만을 제어하므로 기본파와 3차 고조파에서 이득이 0dB인 반면 제안된 제어기는 기본파를 포함한 각각의 고조파 모든 영역에서 이득이 0dB이다.

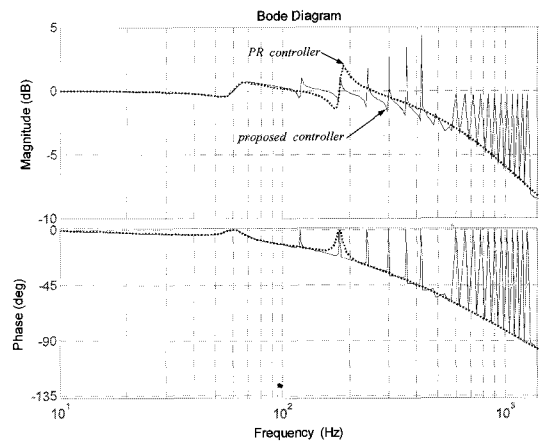


그림 5 제안된 전류제어기의 보드 선도
Fig. 5 Bode plot for proposed control system

2.5 모의실험과 실험 결과

기존의 전류제어기와 제안된 전류제어기의 성능을 비교하기 위해 모의실험과 실험을 수행하였다. 기존의 전류제어기

는 3가지를 고려하였다. 첫 번째는 비례 적분 제어기이고, 두 번째는 비례 공진 제어기에 3개의 고조파 보상기를 추가한 제어기, 그리고 마지막은 반복 제어기이다.

그림 6은 배전용 정지형 보상기의 회로구성이다. 그림 7은 그림 6의 비선형 부하 부분을 자세히 나타낸 것이다. 그림 6과 7을 바탕으로 모의실험과 실험 조건은 표 1과 같다. 배전용 정지형 보상기는 직류단 링크 전압을 1초동안 서서히 증가시키고, 1초가 되면 직류 링크단 전압을 390V가 되게 제어한 후, 보상 전류에 대한 전류제어가 시작된다.

전류제어 부분을 제외한 전압제어기, 지령전류 발생기는 기존의 방법과 제안된 방법 모두 동일하게 적용하였다. 모의 실험과 실험을 통해 각 전류제어기의 제어 성능만을 비교한다.

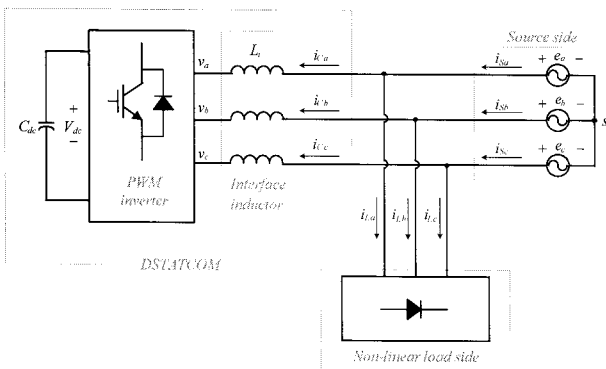


그림 6 배전계통과 배전용 정지형 보상기의 회로구성
Fig. 6 Circuit diagram of distribute power system and DSTATCOM

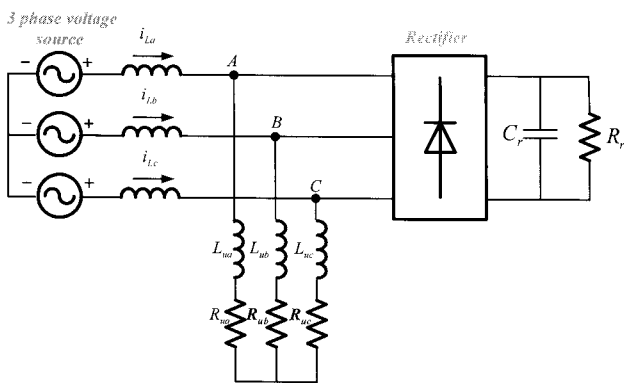
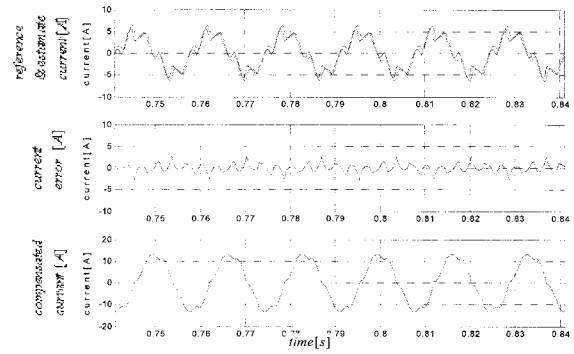
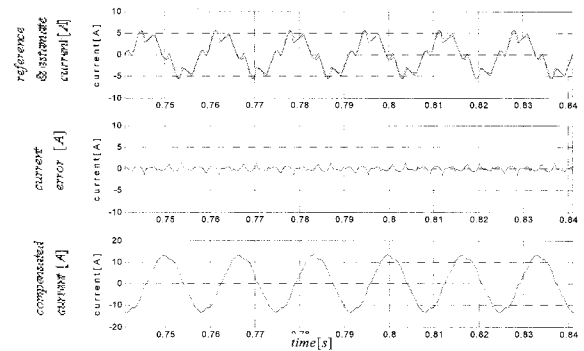


그림 7 비선형 부하 모델링
Fig. 7 Modeling of non-linear loads

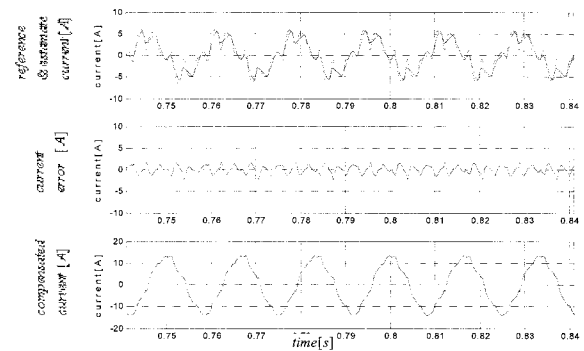
그림 8의 (a), (b), (c)는 기존의 전류제어기를 이용한 모의실험 결과 파형이다. 각 그림은 위에서부터 지령 전류와 추종 전류, 전류 오차, 보상된 전원측 전류를 나타낸다. 3가지 방법 모두 주기적인 전류 오차가 존재하고, 보상된 전원 전류의 파형이 고조파를 많이 포함하고 있는 것을 확인 할 수 있다. 비선형 부하를 포함한 시스템에서 기존의 전류제어기는 지령 전류를 완벽히 추종하지 못한다.



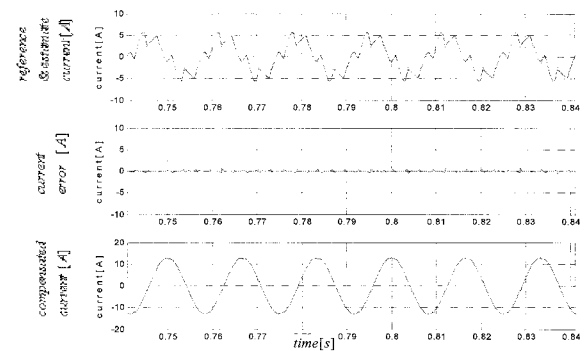
(a) 비례 적분 제어기



(b) 비례 공진 제어기



(c) 반복 제어기



(d) 제안된 제어기

그림 8 모의실험 결과 파형
Fig. 8 Results of simulation

그림 8의 (d)는 제안된 전류제어기를 이용한 모의실험 결과 파형이다. 기존의 전류기에 비해 전류 오차의 크기가 약 80% 줄어들어 기존의 제어 기법보다 더 향상된 전류제어 성능을 얻었다. 이는 배전용 정지형 보상기 전체 성능을 높이는 결과를 나타낸다. 즉, 제안된 전류제어 기법이 기존의 전류제어 기법보다 많은 고조파를 포함한 지령 전류 추종 성능에서 우수하다는 것을 모의실험을 통해 입증하였다.

표 1 모의실험 및 실험 조건
Table 1 Conditions of experiment.

	실험조건
스위칭 주파수	10.02 kHz
전원의 선간전압	220V, 60Hz
직류단 커패시터 전압지령(V_{dc})	390V
직류단 커패시터 용량(C_{dc})	2.82mF
결합인덕터 용량(L_i)	2.8mH
전압제어기 대역폭	60rad/s
전류제어기 대역폭	3000rad/s
3상 인덕터-저항 부하(L_{ua}, R_{ua})	10mH, 20 Ω
단상 커패시터-저항 부하(C_r, R_r)	470 μ F, 60 Ω

그림 9는 부하변동을 통해 각 제어기의 과도상태특성을 나타낸 것이다. 제어기의 과도상태 특성은 전류 오차의 크기를 보면 알 수 있듯 4가지 제어기의 성능이 모두 비슷해 본 논문에서는 각 제어기의 정상상태특성에 중점을 둔다.

실험에서도 전류제어기를 제외한 모든 조건을 동일하게 구성하였다. 그림 10은 실험에서 사용된 기자재 및 제어보드와 파워보드의 사진이다. 그림 10의 (a)는 전원으로 사용된 TW-5250으로 선간 220V, 60Hz의 3상 전압을 발생시킨다. 그림 (b)는 제어보드와 파워보드이다.

DSP는 TI사의 TM320F060을 사용하였다. (c)는 컴퓨터와 오실로스코프이다. 제어기와 컴퓨터를 통한 통신으로 제어가 이루어지고, 결과 파형은 오실로스코프를 통해 얻는다. (d)는 인터페이스 인덕턴스와 전압, 전류 센서이다.

그림 11의 (a), (b), (c)는 기존의 전류제어기를 사용한 실험 결과 파형으로 모의실험과 유사한 결과가 나타난다. 주기적인 전류 오차가 있고, 보상된 전원 전류 파형이 찌그러진 정현파 형태이다. 그림 11의 (d)는 제안된 전류제어기를 이용한 실험 결과 파형이다. 모의실험과 마찬가지로 기존의 전류기에 비해 전류 오차의 크기가 줄어들었고 보상된 전원측 전류가 정현파의 모습을 나타낸다.

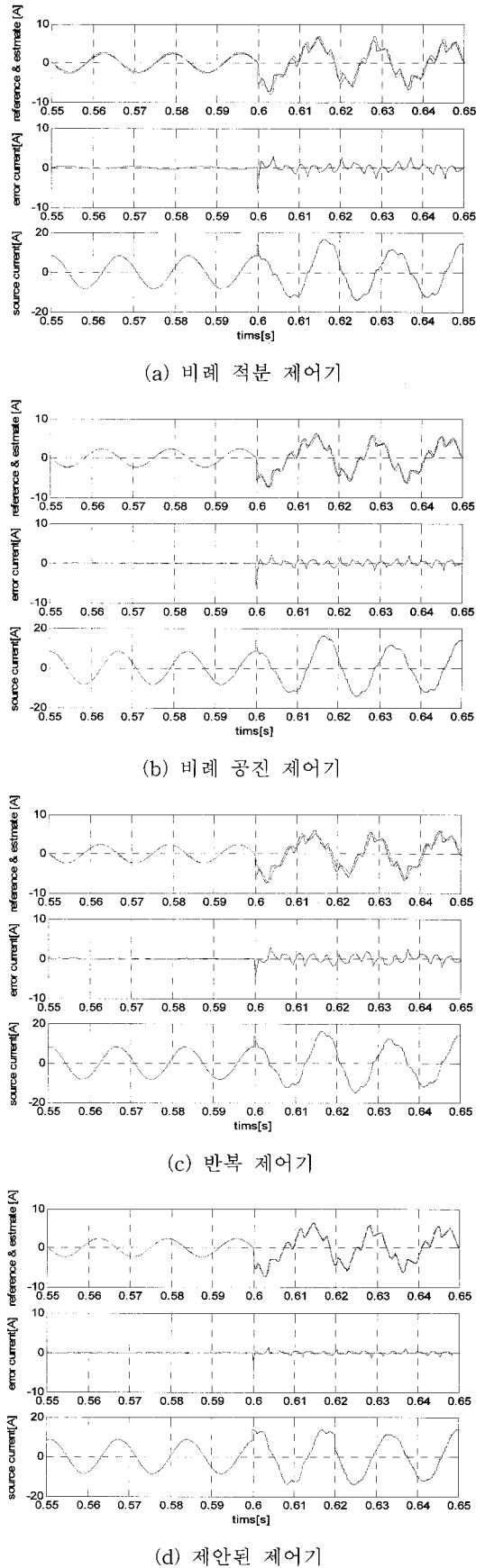


그림 9 모의실험 결과 파형
Fig. 9 Results of simulation

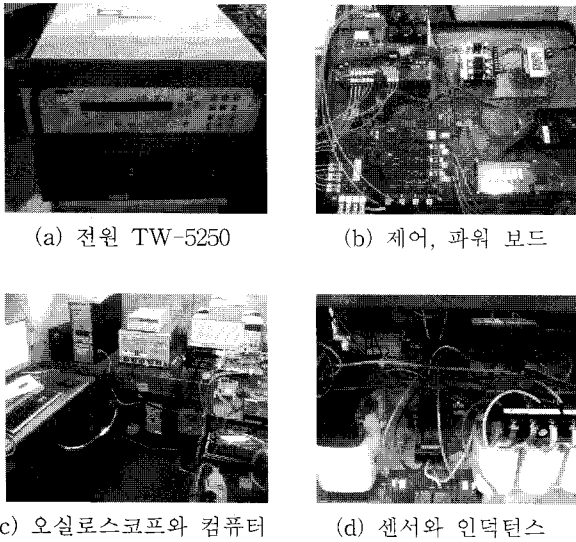


그림 10 실험 기자재 과 제어 보드
 Fig. 10 Experimental facilities, control board

3. 결 론

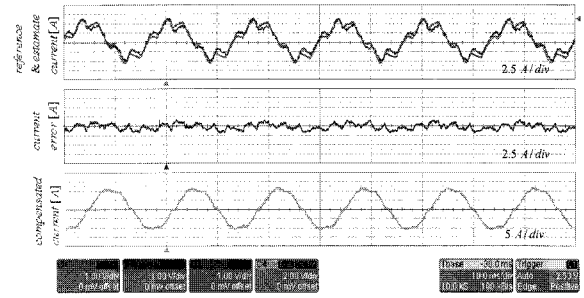
기술의 발달로 인하여 전원에 민감한 부하가 늘어나고 있다. 대부분의 전기제품은 정류기가 포함되어 비선형 부하의 형태다. 이는 전원측의 전류에 고조파를 포함시키고 전원 전력의 품질을 낮추고 있다. 이에 전력품질 개선을 위한 여러 종류의 기기들이 발명되었고, 대표적인 기기에는 동적 전압 보상기, 배전용 정지형 보상기, 그리고 통합 전력품질 제어기가 있다.

배전용 정지형 보상기는 배전용 급전선에 병렬로 연결되어 부하의 특성에 기인하여 발생하는 고조파, 불평형 전류를 경감시켜 주는 능동형 전력필터의 기능을 하며 선로 전압과 90도 위상차가 나는 전류의 유입을 통해 무효전력을 제어하여 역률을 조정하는 기능을 한다. 배전용 정지형 보상기는 세부적으로 부하측 전류로부터 배전용 정지형 보상기의 전류 지령을 계산하는 전류 지령 생성기와 지령 전류를 추종하는 전류제어기로 구분된다.

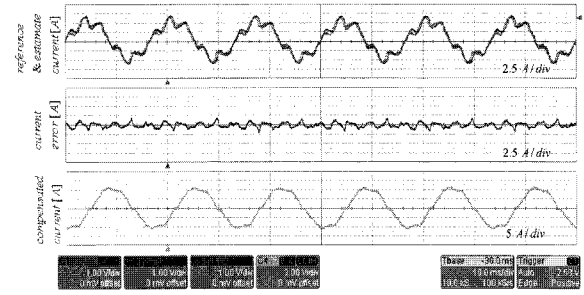
본 논문은 비선형 부하에 의해 많은 고조파를 포함한 지령 전류를 기존의 전류제어 기법과 제안된 전류제어 기법으로 비교했다. 제안된 전류제어 기법은 기본파와 고조파를 분리하듯 제어하여 기본파는 비례 공진 제어기로 제어하고, 기본파를 제외한 많은 고조파는 반복 제어를 통해 제어하여 지령 전류와 추종 전류의 오차가 기존의 기법 보다 최소화 되는 결과를 모의실험과 실험을 통해서 검증하였다.

감사의 글

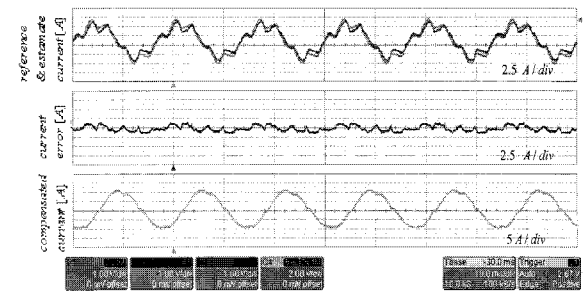
본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다.



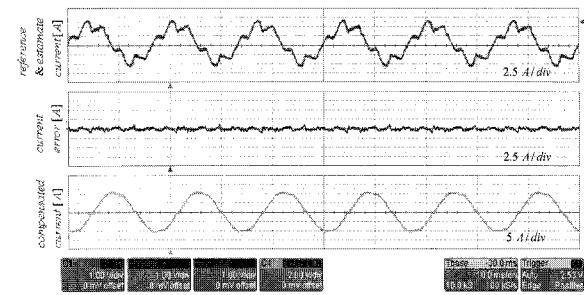
(a) 비례 적분 제어기



(b) 비례 공진 제어기



(c) 반복 제어기



(d) 제안된 제어기

그림 11 실험 결과 파형
 Fig. 11 Results of experiment

참 고 문 헌

- [1] M. McGranaghan, "Overview of Power Quality Standards," *PQ Network Internet Site*, <http://www.pqnet.electrotek.com/pqnet>.
- [2] 이상준, 순간 전압 강하 보상용 직렬 보상기를 위한 새

로운 PLL 및 전압제어기에 관한 연구, 서울대학교 대학원 전기·컴퓨터 공학부 공학박사 학위논문, 2003.

- [3] N. Hingorani, "Introducing Custom Power," *IEEE Spectrum*, vol.32, no.6, pp.41-45,1995.
- [4] H. Akagi, Y. Kanazawa and A. Nabae, "Instantaneous reactive power compensators comprising switching devices without energy storage components," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol.20, pp.625-630, May/June1984.
- [5] F. Peng, J. Lai, "Generalized Instantaneous Reactive Power Theory for Three-Phase Power Systems," *IEEE Trans. Instrumentation and Measurement*, vol. 45, no. 1, pp. 293-297, Feb. 1996.
- [6] F. Peng, G. Ott, D. Adams, "Harmonic and Reactive Power Compensation Based on the Generalized Instantaneous Reactive Power Theory for 3-Phase 4-Wire Systems," *Conf. Rec. IEEE - PESC Annu. Meeting*, 1997, pp.1089-1095.
- [7] S. Buso, L. Malesani, P. Mattavelli, "Comparison of Current Control Techniques for Active Filter Applications," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 45, no. 5, pp. 722-729, Oct. 1998.
- [8] Sang-Joon Lee, Seung-Ki Sul, "A Harmonic Reference Frame Based Current Controller for Active Filter," *Conf. Rec. IEEE - APEC Annu. Meeting*, 2000, pp. 1073-1078.
- [9] R. Teodorescu, F. Blaabjerg, U. Borup, M. Liserre, "A new control structure for grid-connected LCL PV inverters with zero steady-state error and selective harmonic compensation," *Conf. Rec. IEEE - APEC Annu. Meeting*, 2004, pp.580-586.

저 자 소 개



김 동 군 (金 東 權)

1980년 4월 28일생. 2007년 경북대 전자전기공학부 졸업. 2009년 동 대학원 전자전기컴퓨터 학부 졸업(석사), 2009년~현재 LG전자 AC 사업부 제어 연구소 연구원



최 중 우 (崔 鐘 宇)

1969년 2월 25일생. 1991년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2001년~현재 경북대 전자전기컴퓨터학부 부교수.



김 흥 근 (金 興 根)

1956년 4월 24일생. 1980년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1982년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 경북대 전자전기컴퓨터학부 교수.