

# 전력 이론을 이용한 계통연계 PWM 인버터 시스템의 성능 개선

丁海光\*, 李敎範†, 姜信一\*\*, 李賢寧\*\*\*, 權五正\*\*\*\*, 宋丞鎬\*\*\*\*

## Performance Improvement of a Grid-connected PWM Inverter using a Power Theory

Hea-Gwang Jung, Kyo-Beum Lee, Sin-Il Kang, Hyen-Young Lee, Oh-Joeng Kwon and Seung-Ho Song

### 요 약

3상의 PWM 인버터는 풍력발전설비에서 계통연계나 전력제어의 목적으로 그 수요가 급증하고 있다. 이러한 인버터는 스위칭에 의한 고조파를 저감하기 위하여 L-필터나 LCL-필터를 통하여 계통과 연결된다. LCL-필터는 L-필터에 비하여 낮은 스위칭 주파수의 고조파도 효율적으로 저감할 수 있으며 비교적 적은 인덕턴스로 만족할 만한 수준의 계통 전류를 생성한다. 하지만 LC의 추가로 인해 생기는 추가 극점이 시스템의 공진을 초래하여 안정성 문제에 영향을 미친다. 본 논문에서는 전력이론을 이용하여 설계된 LCL필터 시스템의 성능향상과 공진에 의한 안정성 문제의 개선기법을 제안한다. 시뮬레이션과 실험결과를 바탕으로 제안하는 개선기법의 타당성을 보인다.

### ABSTRACT

The demand of a three phase PWM inverter for the purpose of power control or grid-connecting is increasing. This inverter is connected to a grid through an L-filter or LCL-filter to reduce the harmonics caused by switching. An LCL-filter can reduce the harmonic of a low switching frequency and generate a satisfactory level of grid side current with a relatively low-inductance than an L-filter. But the additional poles caused by the LC part affects a stability problem due to induced resonance of the system. This paper presents a compensation method using a power theory to improve performance, the designed LCL-filter system and to reduce the stability problems caused by resonance. The effectiveness of the proposed algorithm is verified by simulations and experiments.

**Key Words** : Three phase PWM-inverter, Harmonics, LCL-filter, Resonance, Power theory

### 1. 서 론

† 교신저자 : 정회원, 아주대 전자공학부 조교수  
E-mail : kyl@ajou.ac.kr

\* 정회원, 아주대 전자공학과 석사과정

\*\* 정회원, (주) 플라스포 기술연구소 과장

\*\*\* 정회원, (주) 플라스포 기술연구소 부사장

\*\*\*\* 정회원, 광운대 전기공학과 부교수

접수일자 : 2008. 3. 6                      1차 심사 : 2008. 4. 14

2차 심사 : 2008. 5. 26                      심사완료 : 2008. 7. 17

최근 신재생 에너지의 개발이 가속화되면서 풍력이나 태양광 등에 의한 발전 시스템의 전력변환장치의 중요성이 대두되고 기술의 개발도 활발히 이루어지고 있다. 전력변환장치의 스위칭으로 인한 고조파는 민감한 부하나 장비에 장애를 일으키는 요인이 되고 있으며, 특히 수 kW 용량의 시스템에서는 필터의 가격과 THD(전고조파왜율)가 시스템 설계 시 매우 중요하게 고려된다<sup>[1]</sup>. 이러한 고조파의 저감을 위해 기존에는 전

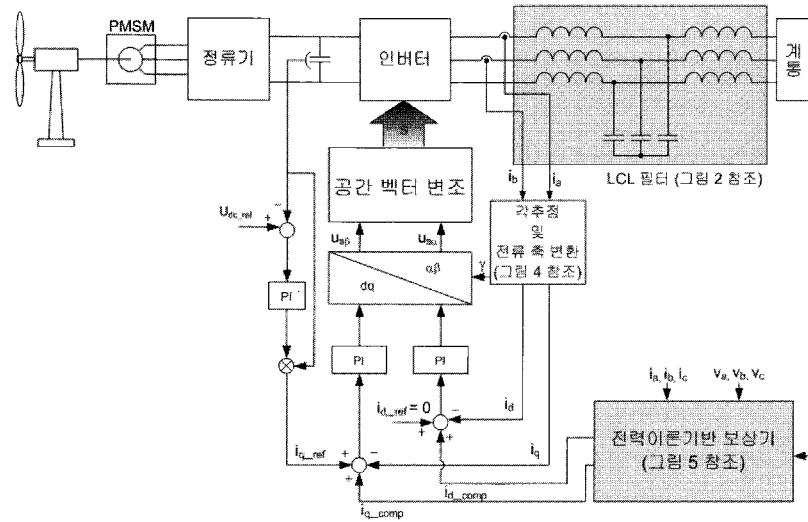


그림 1 풍력발전설비 적용을 위한 제안하는 LCL 필터시스템  
 Fig. 1 The proposed LCL-filter system for wind turbine applications

력변환 장치의 입력이나 출력의 인덕턴스를 사용하였다. 하지만 설비의 용량이 커짐에 따라 매우 큰 인덕턴스가 필요하게 되고 이로 인한 가격의 상승 및 동적 응답의 저하로 인해 필터 구현의 어려움이 발생한다.

앞서 언급한 대용량 설비에서의 L필터의 구현에 따르는 문제점은 LCL필터를 사용함으로써 모두 해결할 수 있다<sup>[2]</sup>. 기존의 L필터에 LC부분을 추가함으로써 결과적으로 수백 kVA의 용량에서도 비교적 적은 인덕턴스와 커패시터 값으로도 효과적으로 고조파를 저감하는 필터의 구현이 가능하기 때문이다. 게다가 기존의 시스템에 LCL필터를 추가하는 것은 전체 시스템의 가격변동이 거의 없으며, 센서의 추가가 없어 쉽고 효과적으로 이루어진다<sup>[3]</sup>.

필터의 각 파라미터가 적절하게 선택되지 않으면 고조파의 효과적인 저감이 어렵고 LC부분의 추가로 생기는 공진 극점에 의하여 안정성에 문제가 발생한다. 이러한 공진 극점에 의한 안정성 문제의 개선에는 병렬 커패시터에 저항을 접속하는 수동댐핑 방식과 추가적인 저항의 접속 없이 공진을 억제하는 능동댐핑 방식이 있다. 수동댐핑 방식은 간단하게 시스템의 안정성을 보장할 수 있으나 저항성분에 의한 추가적인 손실이 발생한다. 수동 댐핑으로 인한 이러한 손실 없이 공진에 의한 안정성 문제를 해결하기 위해 능동 댐핑에 관한 많은 논문들이 발표되었다<sup>[4-7]</sup>. M. Liserre, V. Blasko는 진-지상 보상기를 사용한 능동댐핑 시스템을

제안하였다.<sup>[4][5]</sup> 진-지상 보상기를 사용한 능동 댐핑은 공간벡터변조(Space Vector Modulation; SVM) 블록의 변조 지령값이 되는 지령전압에서 진-지상 보상기의 출력을 빼는 방식으로 공진을 보상한다. 이 알고리즘은 진-지상 보상기의 적절한 이득설정이 이루어져야 만족할만한 성능을 낼 수 있으며, 전압측정을 위한 센서를 필요로 한다. 그리고 P. K. Dahono는 가상저항을 이용한 능동 댐핑을 제안하였다<sup>[6]</sup>. 이 기법은 커패시터에 직렬로 연결된 댐핑저항을 가상의 저항으로 대처하는 방식으로 역시 추가적인 전압 센서를 필요로 한다. 또한 M. Liserre는 대역저지 필터를 이용한 능동댐핑 제어기법을 제안했다. 이 기법은 앞의 두 능동댐핑 기법에 비해 추가적인 센서의 이용이 없어, 가장 적용용이 하지만 대역저지 필터의 설계에 따라 댐핑성능의 영향이 크다는 단점이 있다<sup>[7]</sup>.

본 논문에서는 전력이론을 이용한 보상기법을 제안한다. 제안된 보상 기법은 추가적인 센서 없이 구현이 가능하며 그 알고리즘도 간단하고 적용이 용이하다. 본 논문은 LCL필터의 설계와 공진에 의한 안정성의 문제를 먼저 제시한 후 공진문제 개선을 위한 전력이론을 이용한 보상기법을 제안한다. 그림 1은 제안하는 공진보상 알고리즘 적용을 위한 풍력발전설비 전력변환부와 전체적인 제어구조를 나타낸다. 동기발전기로부터 생성된 전력은 정류기와 인버터를 지나 LCL필터를 거쳐 계통으로 연결된다. 시뮬레이션 및 실험결과는 제안하는 알고리즘의 성능과 유용성을 나타낸다.

## 2. LCL 필터

필터는 그림 1과 같이 두 개의 인덕턴스와 병렬 연결된 커패시터로 이루어지며 필터의 각 파라미터 설계는 파라미터가 시스템에 미치는 영향에 따라 단계적으로 설계되어진다.<sup>[2]</sup> 설계된 LCL 필터는 그림 2와 같은 단상 등가회로로 나타 낼 수 있고 전달함수는 식(1)과 같이 표현된다.

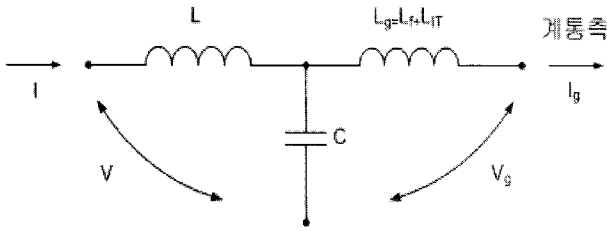


그림 2 LCL 필터 단상 등가회로  
Fig. 2 Equivalent single-phase LCL-filter

$$G(s) = \frac{i(s)}{v(s)} = \frac{1}{Ls} \frac{(s^2 + R_d C_f z_{LC}^2 s + z_{LC}^2)}{(s^2 + R_d C_f \omega_{res}^2 s + \omega_{res}^2)} \quad (1)$$

여기서,

$$z_{LC}^2 = \frac{1}{L_g C_f}, \quad \omega_{res}^2 = \frac{L_T z_{LC}^2}{L}$$

식(1)의 추가된 LC부분과 관련한 2차항의 분모와 분자가 있다. 공진 보상을 위한 댐핑 저항을 연결하지 않는다면 식(1)은 식(2)와 같이 표현된다.

$$G(s) = \frac{i(s)}{v(s)} = \frac{1}{Ls} \frac{(s^2 + z_{LC}^2)}{(s^2 + \omega_{res}^2)} \quad (2)$$

추가된 LC부분으로 인한 극점과 영점이 극좌표상의 허수축에 위치하여 공진 주파수 ( $\omega_{res}$ )에서 공진을 일으킨다. 이것은 시스템 안정도에 문제를 일으키는 요인이 된다. 수동 댐핑저항을 삽입한다면 이러한 극점과 영점은 극좌표상의 좌반면으로 이동하여 안정성을 보장할 수 있지만 추가의 저항 삽입으로 인한 손실이 발생한다.

## 3. 전력이론을 통한 공진 보상

### 3.1 전력이론

$a-b-c$  좌표계의 3상 전압과 전류는 그림 3과 같이  $\alpha-\beta$  좌표계로 변환할 수 있으며, 이 두 기준 좌표계의 관계는 식 (3)으로 표현된다<sup>[8,9]</sup>.

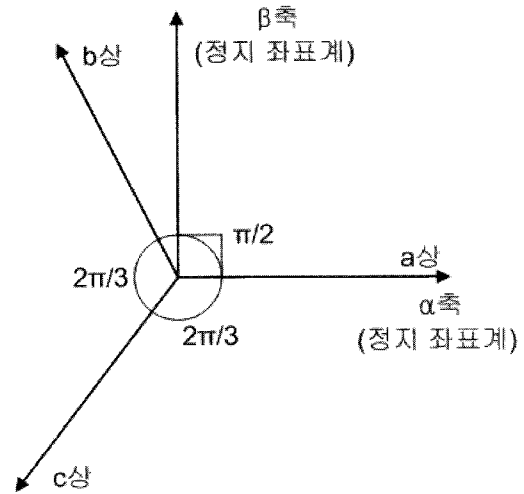


그림 3  $a-b-c$  좌표계에서  $\alpha-\beta$  좌표계로 변환  
Fig. 3 Transformation of  $a-b-c$  coordinates to  $\alpha-\beta$  coordinates

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

일반적으로 3상 순시 무효전력은 식 (4)과 같이 정의된다.

$$p = v_a i_a + v_b i_b + v_c i_c \quad (4)$$

순시 유효, 무효전력을  $\alpha-\beta$  좌표계에서의 순시 유효전력  $p, q$ 로 나타내면 식 (5)와 같다.

$$\begin{aligned} p &= v_\alpha i_\alpha + v_\beta i_\beta \\ q &= v_\alpha i_\beta - v_\beta i_\alpha \end{aligned} \quad (5)$$

순시 유효, 무효전력을 직류성분과 교류성분으로 나누어  $\bar{p}, \tilde{p}, \bar{q}, \tilde{q}$ 라 하면 전류는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \frac{1}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} \begin{bmatrix} v_\alpha & -v_\beta \\ v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{p} + \tilde{p} \\ \bar{q} + \tilde{q} \end{bmatrix} \quad (6)$$

순시 유효, 무효전력의 직류성분을 기본파라고 하고 교류성분을 공진이나 스위칭에 의한 고조파라 정의하면<sup>[9]</sup>, 유효전력은 직류로 무효전력은 0으로 제어되어야 한다. 이러한 보상성분을 식 (6)를 통하여  $\alpha-\beta$  좌표계의 전류로 정리하면 식 (7)과 같다.

$$\begin{bmatrix} i_{\alpha,comp}^* \\ i_{\beta,comp}^* \end{bmatrix} = \frac{1}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} \begin{bmatrix} v_\alpha & -v_\beta \\ v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\tilde{p} \\ -\tilde{q} \end{bmatrix} \quad (7)$$

보상전류  $i_{\alpha,comp}^*, i_{\beta,comp}^*$ 는 순시 유효, 무효전력의 직류나 교류값을 통해 선택적으로 결정된다.

### 3.2 공진 보상

그림 4는 제안하는 공진보상 알고리즘 적용을 위한 풍력발전설비 전력 변환부를 나타낸다. 동기발전기로부터 생성된 전력은 정류기와 인버터를 지나 LCL 필터를 거쳐 계통으로 연결된다. LCL필터에 의한 공진 현상은 앞서 언급한 전력이론을 기반으로 해결한다.

제어입력이 되는 전류  $i_a$ 는 인버터에서 출력되는 전류를 측정하는 것이다. LCL필터에 의해 공진이 일어난 상태의 인버터 출력전류  $i_{inv,abc}$ 는 식 (8)과 같이 크게 세부분의 주파수대역의 성분으로 표현된다.

$$i_{inv,abc} = i(\omega_{fund}) + i(\omega_{sw}) + i(\omega_{res}) \quad (8)$$

제어 입력 전류는 식 (3)과 같이  $\alpha-\beta$  고정좌표계로 변환되고, 추정된 각속도를 통하여 그림 4와 같이  $d-q$  동기 좌표계로 변환된다<sup>[8]</sup>. 전류  $i_d, i_q$ 는 직류 성분( $\bar{i}_d, \bar{i}_d$ )과 교류 성분( $\tilde{i}_d, \tilde{i}_d$ )으로 나눌 수 있다.

입력 전류의 교류성분, 즉 스위칭과 공진에 의한 고조파 성분을 보상해 주기 위하여 본 논문은 전력이론

을 통한 보상기(P-Q 보상기)를 적용하였다. 제안된 P-Q 보상기의 구조는 그림 5와 같다.

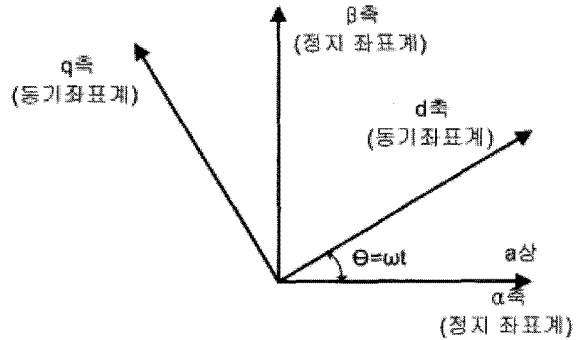


그림 4 고정좌표계의 동기좌표계 변환  
Fig. 4 Transformation of stationary frame to synchronous rotating frame

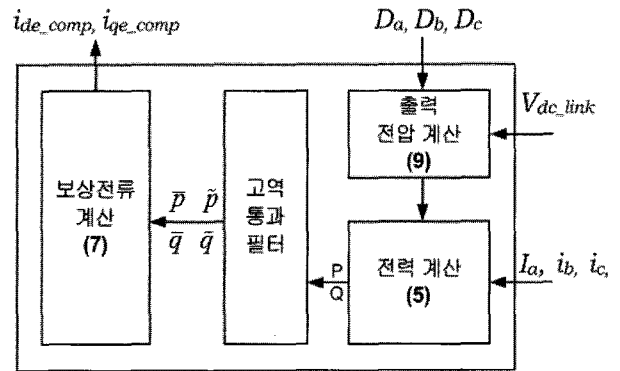


그림 5 제안된 전력이론을 통한 보상기의 블록도  
Fig. 5 Block diagram of proposed compensator with a power theory

추가적인 전압 센서의 사용을 배제하기 위하여 알고리즘에 사용되는 전압은 인버터의 통유율  $D_a, D_b, D_c$ 와 직류단 전압 Vdc-link를 통하여 추정하였다<sup>[10]</sup>.

$$\begin{aligned} v_\alpha &= \sqrt{\frac{2}{3}} V_{dc-link} D_a - \frac{1}{2}(D_b + D_c) \\ v_\beta &= \frac{1}{\sqrt{2}} V_{dc-link} (D_b - D_c) \end{aligned} \quad (9)$$

추정된 전압과 측정된 전류를 통하여 식 (5)와 같이 순시 유효, 무효전력이 계산되고, 계산된 순시 유효,

무효전력은 고역통과 필터를 통하여 직류성분과 교류성분으로 나누어진다.

전류의 공진과 스위칭에 의한 고조파성분을 보상하기 위하여 순시 유효전력의 교류성분과 무효전력을 선택하여 식 (7)과 같이 시스템 보상전류를 결정한다. 결정된 보상전류  $i_{\alpha,comp}^*$ ,  $i_{\beta,comp}^*$  는  $\alpha-\beta$  고정좌표계의 값으로 이것을  $d-q$  동기좌표계로 변환하면 제안된 알고리즘의 보상전류  $i_{d,comp}^*$ ,  $i_{q,comp}^*$  가 얻어지고 이것은 제어 입력에 보상되어 전류의 공진 및 스위칭에 의한 고조파를 저감한다.

#### 4. 시뮬레이션

제안된 알고리즘의 성능을 확인하기 위하여 PSIM을 기반으로 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 표 1과 같은 조건에서 실시되었으며, 실험의 제약조건과 동일한 환경을 조성하기 위하여 시뮬레이션은 정격의 50%에서 이루어 졌다. 필터설계 순서에 따라 표 2와 같은 LCL필터를 설계하였다<sup>[2]</sup>.

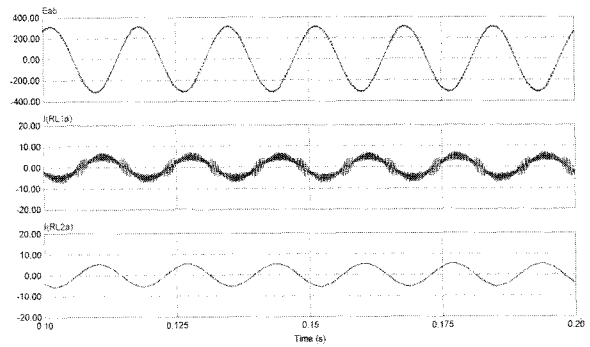
표 1 시뮬레이션 조건  
Table 1 Rated condition of simulation

정격 전력	10kW
정격 선전압	220Vrms
정격 전류	26.2Arms
허용전류 리플	10%(정격조건)
스위칭 주파수	3.5kHz

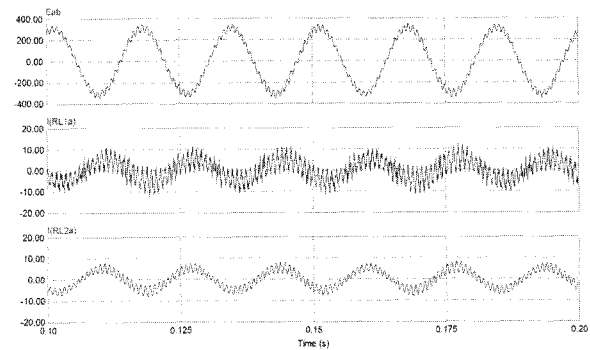
표 2 필터 설계  
Table 2 LCL filter parameter

변압기 인덕턴스	0.4mH
계통 측 인덕터	1.0mH
인버터 측 인덕터	2.0mH
필터 커패시터	25uF

그림 6은 필터 커패시터 단에 수동댐핑 저항을 접속하였을 때와 별도의 댐핑없이 시뮬레이션 하였을 때의 결과이다. 공진주파수에서의 필터 커패시터와 비슷한 수준의 임피던스를 가지는 수동저항소자를 연결하였을 시는 LCL필터로 인한 공진 극점이 z-영역에서 단위원 안으로 이동하여 안정성을 보장할 수 있다<sup>[2]</sup>. 하지만 별도의 댐핑을 하지 않았을 때는 그림 6(b)와 같이 시스템이 공진을 일으킨다.



(a)



(b)

그림 6 선간전압과(상) 인버터측전류(중), 그리고 계통측 전류(하)의 시뮬레이션 파형

(a) 5Ω의 댐핑저항 연결, (b) 별도의 댐핑이 없음

Fig. 6 Simulated waveform of line-to-line voltage (upper), inverter side current (middle) and grid side current (lower); (a) connected damping resistor (5Ω), (b) unconnected damping resistor

그림 7은  $d-q$  동기좌표계로 변환된 제어입력 전류와 공진에 의한 전류의 고조파 성분을 보상하기 위하여 제안된 알고리즘에 의한 보상전류를 비교한 파형이다. q축과 d축의 전류를 통하여 직류 성분은 지령값을 추정하지만 공진에 의하여 교류 성분이 맥동하고 있음을 보여준다. 제안된 전력이론을 통한 공진 보상전류는 제어입력의 교류성분과 거의 유사한 주파수와 크기를 가진다.

그림 8은 0.15초에 제안된 공진 보상전류를 투입한 선간전압과 상전류의 파형이다. 제어입력에서 공진에 의한 맥동성분을 제거하고 전류의 기본파 성분만을 입력하여 공진에 의한 맥동이 저감되었다.

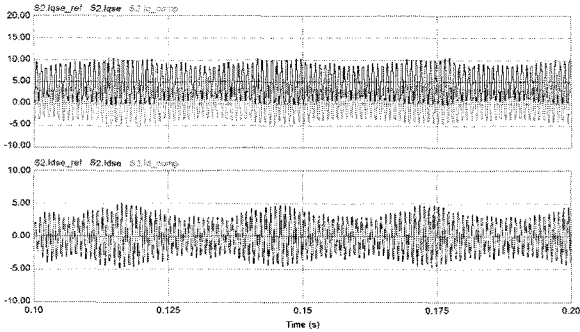


그림 7 q축(상)과 d축(하)의 제어입력 전류(Iqse)와 제안된 공진 보상전류(Iq\_comp)의 시뮬레이션 파형  
 Fig. 7 Simulated waveform of control input current and proposed compensation current of q-axis (upper) and d-axis (lower)

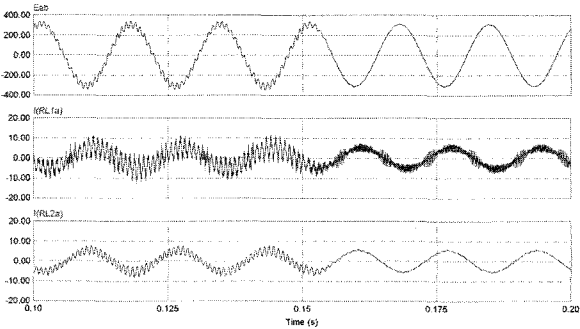


그림 8 공진보상 알고리즘이 0.15초에서 적용되었을 때의 선간전압과(상) 인버터측전류(중) 그리고 계통측 전류(하)의 시뮬레이션 파형  
 Fig. 8 Simulated waveform of line-to-line voltage(upper), inverter-side current (middle) and grid-side current (lower) (The compensation starts after 0.15 s)

### 5. 실험

그림 9는 실험에 사용된 장비의 구성이다. 4.4kW급의 실험 장비를 바탕으로 실험을 수행하였으며 실험의 정격은 표 3과 같이 모두 시뮬레이션과 동일한 조건에서 이루어졌고 필터 또한 시뮬레이션과 같은 필터를 설계하여 실험하였다.

실험에 사용된 전동기와 발전기 세트는 풍력 발전기를 모델링한 것으로 5.5kW, 380V, 1740rpm 4극 유도기로 4.4kW정격의 8극 동기기의 속도와 토크를 제어한다. 유도기의 속도 제어를 통하여 발전기를 제어한다. 전력 변환부는 직류단 커패시터를 사이에 둔 두 개의 IGBT컨버터로 구성되어있으며 3.5kHz로 스위칭한다. 전동기와 발전기 실험세트 측의 컨버터는 발전기의 고정자와 연결되어 있으며 계통 측의 컨버터는 LCL필터를 통하여 계통에 연결되어 있다. MG세트의 정격한계로 인하여 실험은 정격의 50%의 조건에서 수행되었다.

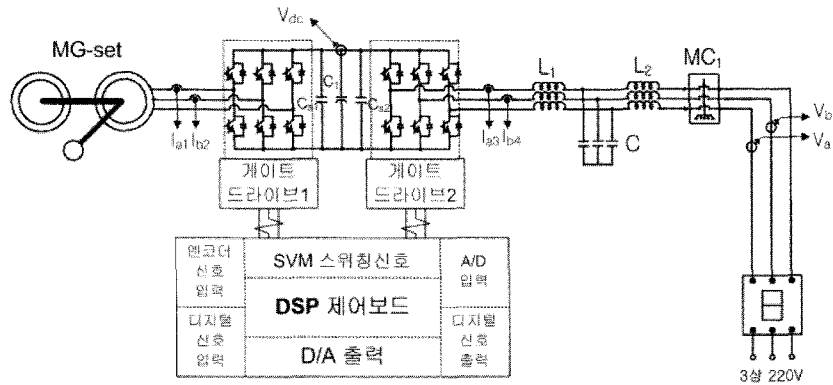
별도의 공진을 보상하기 위한 댐핑없이 LCL필터를 시스템에 적용하였을 시 그림 10과 같이 공진이 발생한다. 설계된 LCL필터의 공진주파수 대역인 1.2kHz대역의 공진이 발생함을 볼 수 있다.

제안된 알고리즘을 통하여 보상 전류를 제어 입력에 보상해 주었을 때 그림 11과 같이 공진에 의한 안정성 문제를 보완할 수 있다. 그림 10에서 발생하였던 공진 주파수에서의 맥동이 저감된 것을 확인할 수 있다.

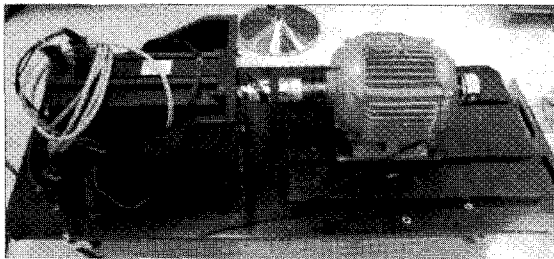
그림 12는 제안하는 알고리즘을 통한 보상 전과 후의 고조파 분석을 비교한 것이다. 공진으로 인한 전류의 맥동 성분이 제안된 알고리즘을 통하여 보상되어 공진 주파수에서의 고조파 성분이 70%가량 저감되었다.

표 3 실험장비의 정격  
 Table 3 Rated condition of experiment

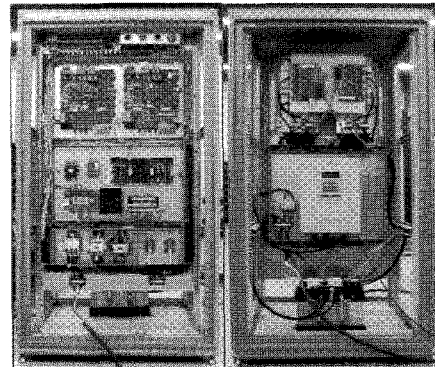
시스템 정격		필터 파라미터	
정격 전력	4.4kW	기본 임피던스	11Ω
정격 선간전압	220Vrms	기본 커패시턴스	241μF
DC-link전압	360V	필터 커패시터	25μF
스위칭 주파수	3.5kHz	인버터측 인덕터	2.0mH
정격 전류	11.5Arms	컨버터측 인덕터	1.0mH
입력 전류의 리플율	50%	변압기 리액턴스	0.17mH
계통측 전류의 리플율	10%		



(a)



(b)



(c)

그림 9 10kW JIG 실험장비의 구조  
Fig. 9 Structure of 10kW JIG experiment

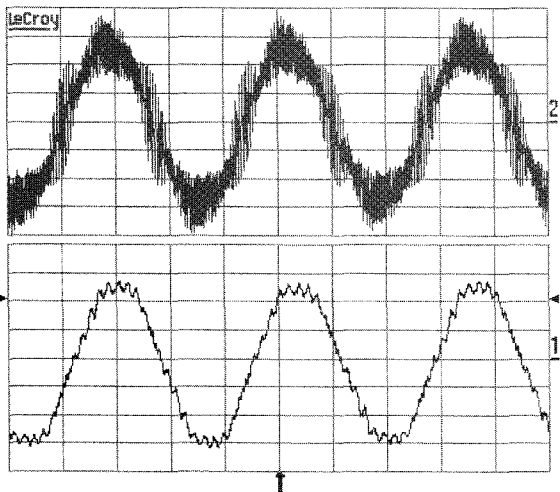


그림 10 제안한 보상 알고리즘을 적용하지 않았을 때 인버터 측 전류와 계통 측 전류 파형 (x축: 2A/div, y축: 5ms/div)

Fig. 10 Inverter side current (upper) and grid side current (lower) without proposed compensation (x-axis: 2A/div, y-axis: 5ms/div)

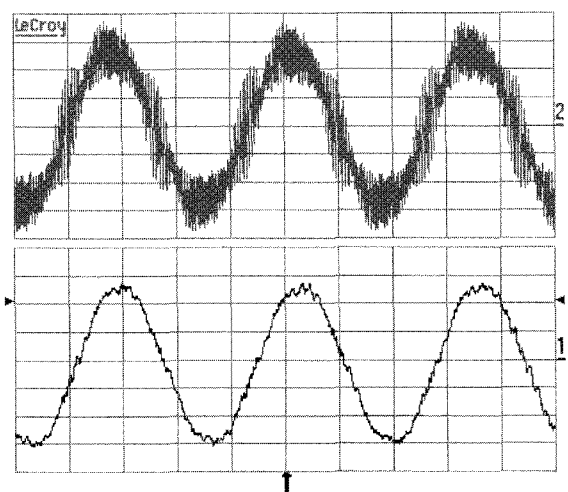


그림 11 제안한 보상 알고리즘을 적용하였을 때 인버터 측 전류와 계통 측 전류 파형 (x축: 2A/div, y축: 5ms/div)

Fig. 11 Inverter side current (upper) and grid side current (lower) (x-axis: 2A/div, y-axis: 5ms/div)

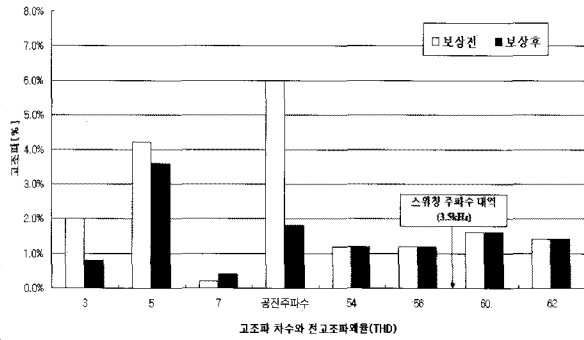


그림 12 제안하는 알고리즘을 통한 보상전과 후, 전류의 고조파 비교

Fig. 12 Comparison of the grid and converter-side currents harmonics

결과적으로 제안된 알고리즘을 적용하여 댐핑으로 인한 추가적인 손실없이 LCL필터를 사용한 시스템의 인버터측과 계통측의 전류를 그림 13에 비교하였다.

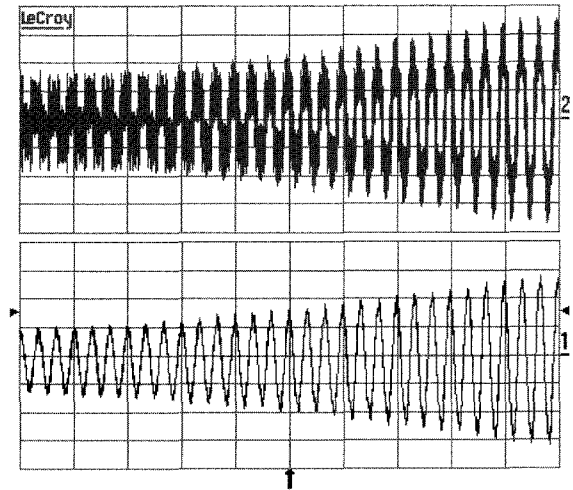


그림 14 과도상태 시 인버터측과 계통측 전류

Fig. 14 Inverter side current (upper) and grid side current (lower)

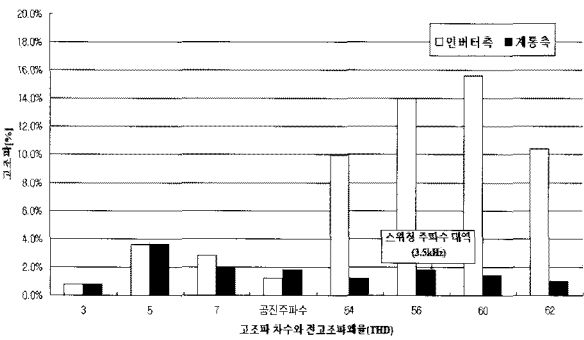


그림 13 계통과 인버터 측 전류의 고조파 비교

Fig. 13 Comparison of the grid and converter-side currents harmonics

공진으로 인한 전류의 맥동성분은 제안된 알고리즘을 통하여 보상되고 스위칭에 의한 고조파 성분이 필터에 의하여 저감되었다. 인버터 단의 인덕터 L의 영향만 받고 있는 인버터 단의 전류와 LCL필터에 의한 영향을 받는 계통측 전류는 저주파 대역의 특성은 거의 흡사하지만 3.5kHz, 스위칭 주파수 대역의 고조파는 90%정도 저감된 것을 볼 수 있다. 제안된 알고리즘의 과도상태의 안정성을 검증하고자 풍력발전기의 블레이드를 구현한 전동기의 속도를 900rpm-1200rpm으로 증가하여 발전기의 출력전류가 2A-Peak에서 6A-Peak로 증가할 때의 인버터와 계통측의 전류를 그림 14에 명시하였다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 풍력발전설비의 계통연계 인버터 시스템에 LCL필터의 적용 시에 발생하는 공진문제를 해결하고 필터의 성능개선을 위한 알고리즘을 제안하였다. LCL필터를 조건에 맞도록 설계하였고, 전력이론을 기반으로 한 보상기를 이용하여 공진에 의한 전류 및 전압파형의 왜곡을 보상하였다. 10kW급의 실험실 모델을 대상으로 시뮬레이션 및 실험을 수행하였고, LCL 필터설계와 제안한 공진보상기법의 타당성을 검증하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] M. P. Kazmierkowski, R. Krishnan, and F. Blaabjerg, Control in Power Electronics, New York Academic, 2002.
- [2] M. Liserre, F. Blaabjerg, and S. Hansen, "Design and control of an LCL-filter-based three-phase active rectifier", *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 41, No. 5, pp. 1284-1285, 2005, Sept./Oct.
- [3] 노재석, 최재호, "전압형 PWM 컨버터의 교류입력측 LCL필터 설계", *전력전자학회 논문지*, 제7권 제5호, pp. 490-498, 2002. 10.
- [4] M. Liserre, A. Dell'Aquila, F. Blaabjerg, "Stability improvements of an LCL-filter based three-phase active rectifier", in *Proceedings of PESC'02*, pp.



1195-1201, 2002, June.

[5] V. Blasko and V. Kaura, "A novel control to actively damp resonance in input Lc filter of a three-phase voltage source converter", *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 33, No. 2, pp. 542-550, 1997, Mar./Apr.

[6] P. K. Dahono, "A control method for DC-DC converter that has an LCL output filter based on new virtual capacitor and resistor concept", in *Proceedings of PESC'04*, pp. 36-42, 2004, June.

[7] M. Liserre, A. Dell'Aquila, and F. Blaabjerg, "Genetic algorithm based design of the active damping for a LCL-filter three-phase active rectifier", *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 19, No. 1, pp. 76-86, 2004, Jan.

[8] 이교범, "PQR 순시전력이론을 이용한 Matrix Converter 구동장치의 비선형 특성 보상", *대한전기학회 논문지*, 53B권 12호, pp. 751-758, 2004. 12.

[9] K. B. Lee and F. Blaabjerg, "A Simple Sensorless Scheme for Induction Motor Drives Fed by a Matrix Converter Using Constant Air-Gap Flux and PQR Transformation", *International Journal of Control, Automation, and Systems*, Vol. 5, No. 6, pp. 652-662, 2007, Dec.

[10] M. Malinowski, M. P. Kazmierkowski, S. Hansen, and F. Blaabjerg, "Virtual-flux-based direct power control of three-phase PWM rectifiers", *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 37, No. 4, pp. 1019-1027, 2001, July/Aug.

Denmark. 2006년~2007년 전북대 전자정보공학부 조교수. 2007년~현재 아주대 전자공학부 조교수.



**강신일(姜信一)**

1976년 6월 10일생. 2002년 2월 전북대 전기공학과 졸업. 2004년 2월 동대학원 대체에너지학과 졸업(석사). 2004년 3월~현재 (주)플라스포 기술연구소 과장.



**이현영(李賢寧)**

1976년 11월 19일생. 2002년 2월 울산대 제어계측공학과 졸업. 2004년 2월 동 대학원 전기전자정보시스템공학과 졸업(석사). 2004년 1월~현재 (주)플라스포 기술연구소 과장.



**권오정(權五正)**

1968년 10월 출생. 2002년 2월 울산대 전기공학과 졸업. 1994년~1999년 (주)포스콘 전력전자사업부 PM. 1999년~2001년 (주)제4기한국 연구소 선임연구원. 2001년 12월~현재 (주)플라스포

부사장.



**송승호(宋丞鎬)**

1968년 8월 27일생. 1991년 서울대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 동 대학원 전기공학부 졸업(공학박). 1992년~1995년 포스콘 기술연구소 연구원.

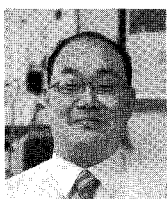
2000년~2006년 전북대 전자정보공학부 조교수. 2004년~2005년 미국 위스콘신대 방문교수. 2006년~현재 광운대 전기공학과 부교수. 현재 당 학회 편집위원.

**저 자 소 개**



**정해광(丁海光)**

1982년 8월 9일생. 2008년 전북대 전자정보공학부 졸업. 현재 아주대 전자공학과 석사과정.



**이교범(李敎範)**

1972년 6월 30일생. 1997년 아주대 공대 전자공학부 졸업. 1999년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 2003년 고려대 전기공학과 졸업(공학박). 2003년~2006년 The Institute of Energy Technology, Aalborg University in