

## SHE방식을 적용한 직류전력 회생시스템의 고조파 저감에 관한 연구

鄭又彰\*, 姜旻佑†, 徐永珉\*\*, 洪淳瓚†

## A Study on the SHE-Based Harmonic Reduction of DC Power Regenerating Systems

Woo-Chang Jung, Kyoung-Woo Kang, Young-Min Seo, and Soon-Chan Hong

## 요 약

본 논문에서는 직류를 전원으로 하는 지하철에서 직류모선의 잉여전력을 교류모선으로 회생할 수 있는 직류전력 회생시스템의 고조파를 저감시키는 새로운 제어기법을 제안하였다. 직류전력 회생시스템에 수정  $\alpha$ 도통(MAC : Modified  $\alpha$ -Conduction)방식을 적용하면 출력전압에  $12k \pm 1$ 차의 고조파가 존재한다. 이에 반해 본 논문에서 제안하는 SHE(Selected Harmonic Elimination)에 기반을 둔 방식을 적용하면 11차 고조파와 13차 고조파가 추가로 제거된다. 또한 회생시스템의 출력단에 23차 교류필터를 설치하면 잔존하는 고조파중 최저차 고조파인 23차 고조파도 제거할 수 있다. 본 논문에서 제안한 SHE방식을 적용한 고조파 저감기법을 검증하기 위하여 축소모델을 대상으로 하여 시뮬레이션을 행하였다. 그 결과, 출력전압의 THD가 기존의 MAC방식보다 더 낮으며 제어범위에서의 THD가 0.53~0.68[%] 범위를 확인하였다.

## ABSTRACT

This paper proposes a novel control scheme for the harmonic reduction of DC power regenerating systems, which can regenerate the excessive DC power from DC bus line to AC supply in subway systems. In the developed regenerating systems controlled by MAC(Modified  $\alpha$ -Conduction) method, the order of remaining harmonics are  $12k \pm 1$ . In SHE(Selected Harmonic Elimination) method proposed in this paper, however, the 11th and 13th harmonics are additionally eliminated. And moreover 23rd harmonics, lowest order harmonics among the remaining harmonics, is eliminated by 23rd AC filter furnished at the output terminals of regenerating systems. To verify the validity of the proposed SHE-based harmonic reduction technique, computer simulations are carried out. Simulation results show that the THDs of output voltages are lower than that of the MAC method and the THDs in the control range are in the range of 0.53-0.68 percents.

**Key Words** : Regeneration, Harmonic reduction, THD, SHE

## 1. 서 론

\* 학생회원, 단국대 전기공학과 석사과정

\*\* 학생회원, 단국대 전기공학과 박사과정

† 교신저자 : 정희원, 단국대 전기전자컴퓨터공학부 교수

E-mail : schong@dku.edu

접수일자 : 2003. 10. 16 1차 심사 : 2003. 10. 28

2차 심사 : 2003. 12. 4 심사완료 : 2003. 12. 15

직류를 전원으로 하는 전철시스템에서 전동차가 제동중이거나 하강 경사로 주행시에는 전동차에서 직류모선으로 전력을 회생하게 되며, 회생된 전력은 동일 구간을 주행하는 전동차나 동일구간내 보조 설비에서

사상한다. 이때 이와 같이 사용하고도 남는 전력의 양은 교류모선에서 정류기를 통해 직류모선으로 공급하는 에너지량의 10~20[%]정도이다.<sup>[1]</sup> 이 에너지에 의해 직류모선의 전압이 상승하며 이로 인한 과전압에 의해 기기가 손상되는 것을 방지하기 위해 저항열로 소비하고 있다.

직류모선의 잉여전력을 교류모선으로 회생시킬 수 있는 직류전력 회생시스템에서는 직류모선의 잉여전력이 회생됨에 따라 회생시스템의 입력직류전압이 낮아진다. 또한 교류모선으로 전력을 회생하려면 출력단 전압의 크기를 교류모선의 전압과 같은 크기로 일정하게 유지하고 위상을 제어할 수 있어야 한다. 따라서 시스템의 출력전압을 교류모선전압과 매칭되는 크기와 위상으로 제어할 수 있어야 한다.<sup>[2]</sup>

직류전력 회생시스템에서 잉여 직류전력을 교류모선으로 회생시키는데 있어 가장 큰 문제점은 회생전력이 많은 고조파를 함유하고 있어 전력의 질을 떨어뜨리는데 있다. 이와 같은 회생전력의 고조파를 저감시키기 위하여 이중화된 3상 인버터, 지그재그 결선된 특수변압기, 필터로 구성된 회생용 인버터 시스템을 개발하였으며, 이 시스템에서 출력전압을 제어하기 위해 수정  $\alpha$ 도통(MAC : modified  $\alpha$ -conduction)방식이 적용되었다.<sup>[3]</sup>

본 논문에서는 직류전력 회생시스템에서 MAC방식보다 더 고조파를 저감시킬 수 있는 SHE방식을 제안하고 시뮬레이션을 행하여 새로 제안한 SHE방식의 우수성을 입증하고자 한다.

## 2. 직류전력 회생시스템

직류를 전원으로 하는 전철시스템에서는 교류모선에서 공급된 전력이 다이오드 정류기를 통해 정류된 다음이 직류모선으로 공급된다. 전동차에 전력을 공급하는 직류모선 한 구간의 길이는 대략 3~4[km]이며, 직류모선의 잉여 직류전력을 교류모선으로 회생하려면 직류모선 각 구간마다 회생시스템이 필요하다.

교류모선에서 정류기를 통해 직류모선으로 공급되는 전압에 비해 직류모선에서 인버터를 통해 교류모선으로 회생되는 전력이 적으므로 회생용 인버터 시스템을 별도로 설치하면 인버터의 용량이 다이오드 정류기보다 작아지고 기존의 정류기 시스템에 부가하여 설치할 수 있으므로 경제적이다.

그림 1은 직류전력 회생시스템을 나타내고 있다. 시스템에서는 고조파를 저감시키기 위해 그림 2와 같이

3상 준구형과 인버터 두 대를 30° 위상차로 2중화하고 인버터 출력단에 지그재그 결선 변압기를 설치한다. 또한 변압기 출력단에 교류필터를 설치하고, 계통연계 리액터를 통하여 교류모선과 연결된다.<sup>[3]~[5]</sup>

3상 VSI를  $\pi/6$ 의 위상차로 2중화하면 출력전압의 THD는 감소하지만 2중화로 인한 추가적인 고조파의 제거는 없으므로  $6k\pm 1$ 차의 고조파가 여전히 남게 된다. 이때 그림 2의 지그재그 결선 출력변압기에서  $N_1 = N_{12}/N_{11}$ ,  $N_2 = N_{221}/N_{21} = N_{222}/N_{21}$ 라 할 때  $N_1 = \sqrt{3}N_2$ 의 관계가 성립하면  $6(2k-1)\pm 1$ 차의 고조파가 추가로 제거되어  $12k\pm 1$ 차의 고조파만 남게 되며 존재하는 고조파의 최저 차수는 11차가 된다.<sup>[4]</sup>

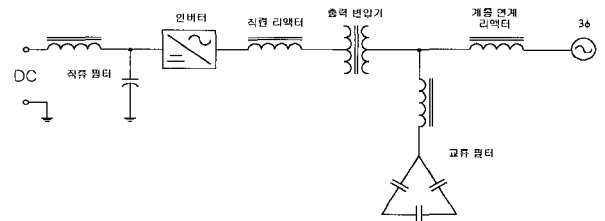


그림 1 직류전력 회생시스템  
Fig. 1 DC power regenerating system

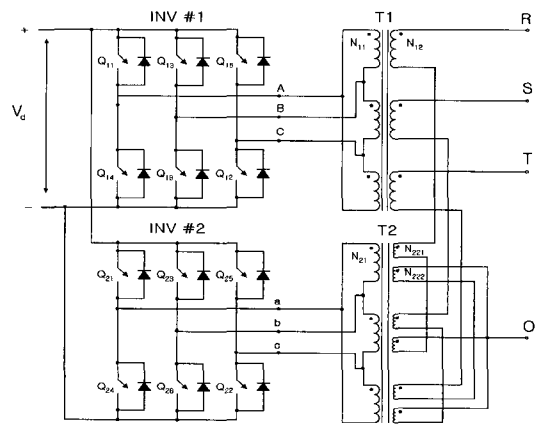


그림 2 회생전력 제어용 인버터 시스템  
Fig. 2 Inverter system for regenerated power control

## 3. 수정 $\alpha$ 도통방식(MAC방식)

직류전력 회생시스템에 MAC방식을 적용하여 그림 2의 상단에 있는 INV #1과 같은 3상 인버터를 제어할 때의 스위칭패턴과 출력 선간전압  $v_{AB}$ 는 그림 3과 같으며,  $\beta = (\pi - \alpha)/2$ 의 관계를 이용하여 푸리에 급수

로 전개하면 식 (1)과 같다.

$$v_{AB} = \sum_n^{\text{odd}} V_{na} \sin n \left( \omega t + \frac{\pi}{6} \right) \quad (1)$$

$$\text{단, } V_{na} = \frac{4V_d}{n\pi} \cos \frac{n\pi}{6} \left\{ 2 \cos n \left( \frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2} \right) - 1 \right\}$$

인버터를  $\pi/6$ 의 위상차로 2중화하고 지그재그 결선 변압기를 사용하면 직류전력 회생시스템의 출력 선간 전압은 다음과 같다.<sup>[4]</sup>

$$v_{RS} = \sum_n^{\text{odd}} V_{na} N_1 \left( \sqrt{3} + 2 \cos \frac{n\pi}{6} \right) \cdot \sin n \left( \omega t + \frac{\pi}{3} \right) \quad (2)$$

따라서 MAC방식을 적용하는 인버터 2대를 이중화하고 지그재그결선 출력변압기를 사용하면 잔존하는 고조파는  $12k \pm 1$  차이다.

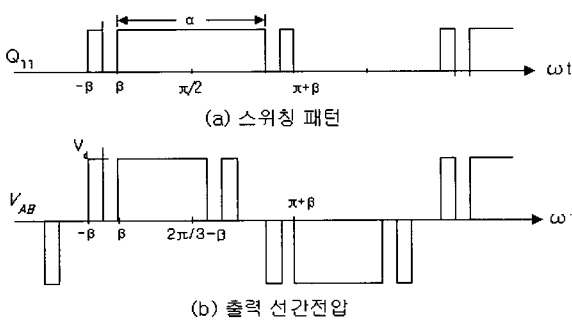


그림 3 MAC방식의 스위칭패턴과 출력 선간전압  
Fig. 3 Switching pattern and output line-to-line voltage of MAC method

### 4. SHE방식

고조파를 저감하기 위해 필터를 여러 개 설치하는 것은 공간적 및 경제적인 제약을 받는다. 따라서 가급적 필터를 추가로 설치하지 않고 고조파를 저감시킬 수 있는 스위칭방식이 요구된다. 대용량 시스템에 사용되는 스위칭소자는 스위칭 주파수가 극히 낮은 값으로 제한되므로 스위칭 횟수가 많은 SPWM방식이나 SVM(Space Vector Modulation)방식 등은 현실적으로 적용하기 어렵다.

MAC방식은 4반주기( $0 \sim \pi/2$ ) 내의 스위칭각의 수가 한 개이므로 출력전압 기본파의 크기를 제어하면 고조파를 추가로 제거할 수 없으며, 따라서 잔존하는 고조파의 차수는  $12k \pm 1$  차이다. 여기서 직류전력 회생시스

템 출력의 저차 고조파인 11차 고조파와 13차 고조파를 추가로 제거하기 위해 스위칭각을 2개 추가하면 스위칭주파수를 제한된 범위로 유지하면서도 고조파를 최대한 저감시킬 수 있다. 이 방법은 특정고조파를 제거하기 위한 스위칭각을 미리 계산하여 스위칭하므로 SHE(Selected Harmonic Elimination)방식이라고 할 수 있으며, 적은 스위칭으로도 특정 고조파의 크기를 효과적으로 저감시킬 수 있으므로 회생용 인버터 시스템의 운전에 적합하다.

SHE방식은 출력전압을 제어하기 위해 정현대칭 및 반파대칭으로 스위칭하며, 4반주기 내의 스위칭각의 수만큼 출력을 제어할 수 있다. 본 연구에서는 스위칭각을 3개로 하여 출력전압에서 기본파의 크기를 제어하면서 11차 고조파와 13차 고조파를 제거한다. 그림 4는 MAC방식과 SHE방식을 적용할 때 그림 2의 INV #1의 A상 전압파형을 비교한 그림이다.

그림 5는 SHE방식의 스위칭패턴과 INV #1의 선간 전압파형을 나타낸 것으로서,  $0 \sim \pi/2$  사이에 스위칭각이  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 의 3개가 존재한다. 그림 5(b)의 선간 전압  $v_{AB}$ 를 푸리에 급수로 전개하면 식 (3)과 같으며  $6k \pm 1$ 차의 고조파가 존재한다.

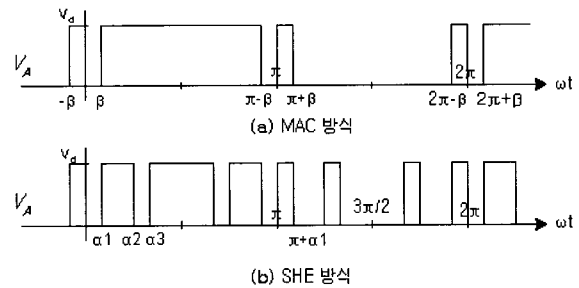


그림 4 MAC방식과 SHE방식의 출력 상전압  
Fig. 4 Phase voltages in MAC and SHE methods

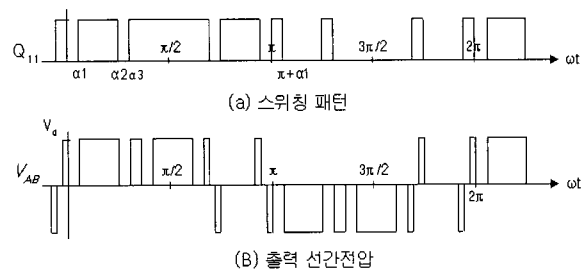


그림 5 SHE방식의 스위칭패턴과 출력 선간전압  
Fig. 5 Switching pattern and output line-to-line voltage of SHE method

$$v_{AB} = \sum_n^{odd} V_{ns} \sin n \left( \omega t + \frac{\pi}{6} \right) \quad (3)$$

$$\text{단, } V_{ns} = \frac{4V_d}{n\pi} \cos \frac{n\pi}{6} \cdot (2 \cos n\alpha_1 - 2 \cos n\alpha_2 + 2 \cos n\alpha_3 - 1)$$

두 대의 인버터를  $\pi/6$ 의 위상차로 2중화하여 INV #2의 선간전압을 식 (4)와 같이 되도록 하여도 출력전압의 THD는 감소하지만 2중화로 인한 추가적인 고조파의 차수 제거는 없으므로  $6k \pm 1$ 차의 고조파가 여전히 남는다.

$$v_{ab} = \sum_n^{odd} V_{ns} \sin n \omega t \quad (4)$$

그림 2의 출력변압기에서  $N_1 = N_{12}/N_{11}$ ,  $N_2 = N_{221}/N_{21}$ 이고  $N_1 = \sqrt{3}N_2$ 의 관계가 성립하도록 하면  $6(2k-1) \pm 1$ 차의 고조파가 추가로 제거되어  $12k \pm 1$ 차의 고조파만 남게 된다. 이러한 출력변압기를 가진 직류전력 회생시스템을 SHE방식으로 운전하면 출력 선간전압  $v_{RS}$ 가 그림 6과 같은 형태가 되며, 출력 선간전압을 푸리에 급수로 전개하면 식 (5)와 같다.

$$v_{RS} = \sum_n^{odd} V_{ns} N_1 \left( \sqrt{3} + 2 \cos \frac{n\pi}{6} \right) \cdot \sin n \left( \omega t + \frac{\pi}{3} \right) \quad (5)$$

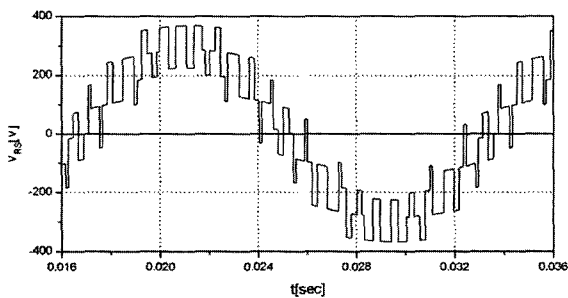


그림 6 SHE방식의 출력전압  $v_{RS}$   
Fig. 6 Output voltage  $v_{RS}$  in SHE method

MAC방식으로 운전되는 직류전력 회생시스템의 출력에 나타나는 고조파는  $12k \pm 1$ 차이다. SHE방식에서 기본파 출력전압의 실효값을  $V_{1,rms}$ 로 일정한 값을 유지하면서 11차 고조파 및 13차 고조파를 제거하기 위해서는 스위칭 각  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ 가 다음의 식 (6)의 관

계를 만족하여야 한다.

$$\begin{aligned} 2 \cos \alpha_1 - 2 \cos \alpha_2 + 2 \cos \alpha_3 - 1 &= \frac{\pi V_{1,rms}}{6\sqrt{2} V_d N_1} \\ 2 \cos 11\alpha_1 - 2 \cos 11\alpha_2 + 2 \cos 11\alpha_3 - 1 &= 0 \quad (6) \\ 2 \cos 13\alpha_1 - 2 \cos 13\alpha_2 + 2 \cos 13\alpha_3 - 1 &= 0 \end{aligned}$$

직류전력 회생시스템에서는 직류모선의 잉여 직류전력이 회생됨에 따라 시스템의 입력 직류전압이 낮아지더라도 시스템의 출력 교류전압은 교류모선의 전압과 같은 크기로 일정하게 유지되어야 한다. 본 연구에서는 표 1과 같은 축소모델을 사용하였으며, 따라서 식 (6)에서  $V_{1,rms} = 220[V]$ 이다. 그림 7은 Newton-Raphson 방법을 사용하여 시스템의 출력전압을 220[V]로 유지하면서 11차 및 13차 고조파를 제거할 수 있는 스위칭각을 구한 결과이다.

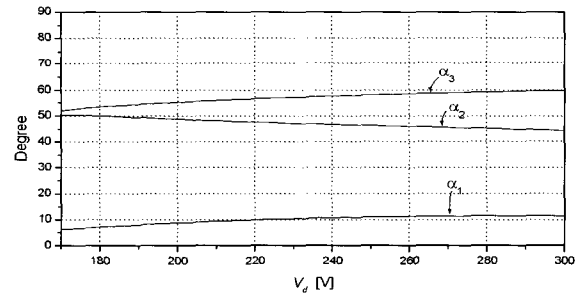


그림 7 SHE방식의 스위칭각  
Fig. 7 Switching angles of SHE method

그림 7의 스위칭각을 갖는 SHE방식으로 직류전력 회생시스템을 운전하면 11차 및 13차 고조파가 추가로 제거되므로 잔존 고조파중 최저차는 23차가 된다.

## 5. 시뮬레이션

직류모선전압이 1,500[V]인 국내 지하철에 적용하기 위해 한국철도차량(주)에서 개발한 직류전력 회생시스템은 용량이 1.5[MVA]이며, 회생 시작전압이 1,750[V]이고 종료전압이 1,630[V]로서 회생 시작전압을 기준으로 6.9[%]의 제어폭이 필요하다.<sup>[3]</sup> 1.5[MVA] 용량의 직류전력 회생시스템을 개발하기 위한 기반기술을 연구하기 위해 제작한 축소모델에서도 6.9[%] 이상의 제어폭이 필요하다.

본 연구에서는 단국대학교 전력전자연구실에서 제작

한 5[kVA]용량의 축소모델을 대상으로 하며, 축소모델의 파라미터는 표 1과 같다.<sup>[5]</sup>

표 1 축소시스템의 파라미터  
Table 1 Parameters of prototype system

파라미터	값
교류모선전압	3상, 220 [V]
출력 용량	5 [kVA]
직렬리액터	0.577 [mH]
변압기 권수비	$N_1=25/49, N_2=15/51$
연계리액터	3.88 [mH]

### 5.1 MAC방식의 고조파 분석

식 (2)에서  $v_{RS}$ 의 기본파 출력값을 일정하게 유지하면서 입력전압  $V_d$ 가 최소가 되는 경우는  $\alpha=\pi/2$ 일 때이다. 축소모델에서 교류모선전압에 해당하는 교류 전원이 220[V]이고  $N_1=25/49$ 이므로  $V_d$ 값이 159.7[V] 이상이면 시스템의 기본파 출력전압을 교류 모선전압인 220[V]로 일정하게 유지할 수 있다.

입력전압이 159.7[V] 이상인 170~300[V] 범위일 때 주요 고조파의 크기와 THD는 그림 8과 같다. MAC방식을 적용한 회생시스템에서 잔존하는 고조파중 최저차수의 고조파는 11차 고조파이다. 그런데 11차 교류필터를 설치하는 것보다는 12차 교류필터를 설치하는 것이 출력전압 THD 저감면에서 더 효과적임이 확인되었다.<sup>[3]-[5]</sup> THD를 더 저감시키기 위해 시스템의 출력단에  $L=135[\mu H]$ ,  $C=360[\mu F]$ 인 12차 교류필터를 설치하였다.

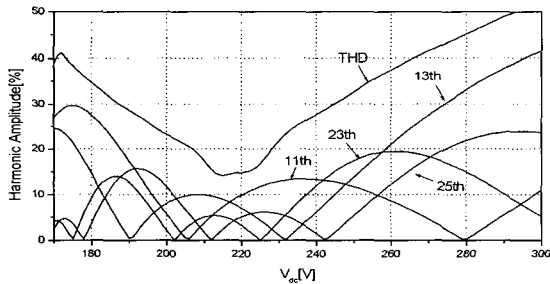


그림 8 MAC방식의 고조파와 THD(필터 설치전)  
Fig. 8 Harmonics and THD in MAC method (without filter)

그림 9는 MAC방식을 적용한 직류전력 회생시스템의 출력단에 12차 교류필터를 설치한 경우의 출력전압 THD를 나타낸 것이다. 입력전압  $V_d$ 가 170~300[V]로

변해도 기본파 출력전압의 크기를 220[V]로 일정하게 유지할 수 있다. 이 전압범위에서 THD가 낮은 범위인 204~234[V]를 직류입력전압의 변동범위로 선정하였으며 제어폭이 12.8[%]로서 필요한 제어폭 6.9[%]보다 충분히 크다. 이 제어범위에서는 전압 THD를 1.75[%] 이내로 낮출 수 있다.

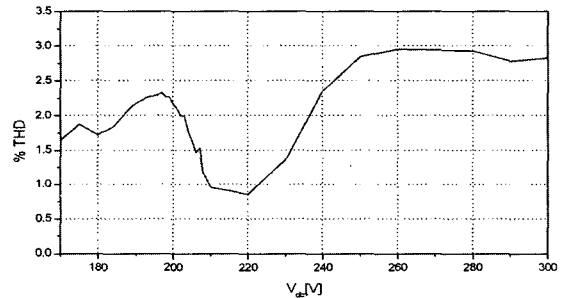


그림 9 MAC방식의 THD(12차 필터 설치후)  
Fig. 9 THD of MAC method(with 12th filter)

### 5.2 SHE방식의 고조파 분석

SHE방식일 때의 결과수식인 식 (5)에서  $v_{RS}$ 의 기본파 출력전압이 일정하게 유지되면서  $V_d$ 가 최소가 되는 경우는  $\alpha_1=0, \alpha_2=\alpha_3$ 일 때이다. 축소모델에서 교류모선전압이 220[V]이고 권수비가  $N_1=25/49$ 이므로 SHE방식에서도  $V_d$ 가 159.7[V] 이상이면 시스템의 기본파 출력전압을 220[V]로 일정하게 유지할 수 있다.

그림 10은 SHE방식으로 운전되는 직류전력 회생시스템에서 교류필터를 설치하기 전의 주요 고조파 분포를 나타낸 것이다. 입력전압의 변동범위 진구간에서 23차 고조파가 다른 고조파보다 현저히 크게 나타남을 알 수 있다. 따라서 시스템의 출력단에 23차 교류필터를 설치하여 잔존고조파를 저감시키는 것이 고조파 저감측면에서 효과적이다. 시뮬레이션에 사용한 23차 교류필터는 리액터가 37[μH], 커패시터가 360[μF]이다.

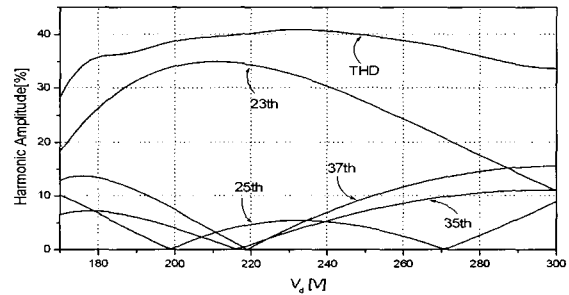


그림 10 SHE방식의 고조파와 THD(필터 설치전)  
Fig. 10 Harmonics and THD of SHE method(without filter)

SHE방식을 적용한 회생인버터 시스템에 23차 교류필터를 설치한 경우의 출력전압 THD는 그림 11과 같다. 그림 11에서 알 수 있듯이 교류필터 설치 후에는  $V_d=190[V]$  근처에서 THD가 낮다. 따라서 본 연구에서 SHE방식을 적용함에 있어 직류입력전압의 변동범위를 180~210[V]로 설정하며, 이때의 제어폭은 회생 시작전압인 210[V]를 기준으로 14.3[%]이다. 이 제어범위 내에서 전압 THD의 최대값은 0.68[%]이다.

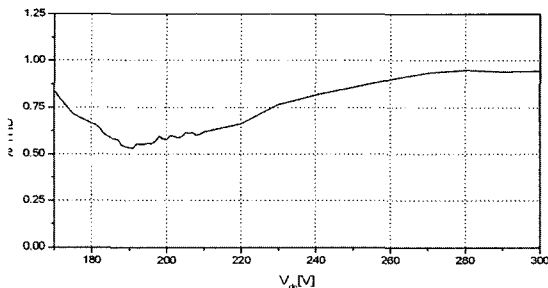


그림 11 SHE방식의 THD(23차 필터 설치후)  
Fig. 11 THD of SHE method(with 23rd filter)

### 5.3 MAC방식과 SHE방식과의 비교

그림 12는 직류전력 회생시스템에 12차 교류필터를 설치하고 MAC방식을 적용한 경우의 THD와 23차 교류필터를 설치하고 SHE방식을 적용한 경우의 THD를 비교한 그림이다.

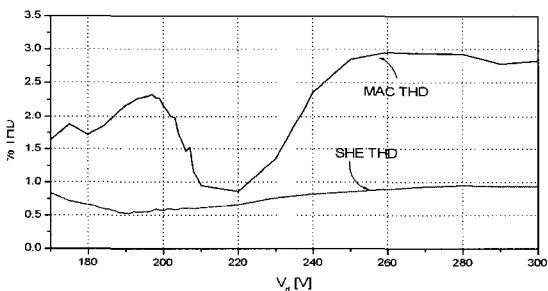


그림 12 SHE방식과 MAC방식의 THD 비교(필터 설치후)  
Fig. 12 THD comparison of SHE method with MAC method(with filters)

MAC방식에서는 12차 교류필터 설치 후에 THD가 낮게 나타나는 영역인 204~234[V]를 제어범위로 선정하였으며, 이 범위에서 출력 전압의 THD는 0.85~1.75[%] 정도이다.

SHE방식에서도 필터 설치 후의 THD를 기준으로 하여 180~210[V] 범위를 제어범위로 선정했는데, 이

범위에서의 THD는 0.53~0.68[%]이며 THD가 최대로 나타나는 180[V]에서도 MAC방식의 최저값인 0.85[%]보다 낮은 0.68[%]이다. 따라서 입력직류전압 변동범위 구간에서 SHE방식이 MAC방식에 비해 항상 THD 값이 낮으므로 직류전력 회생시스템에서 고조파를 저감하는데에는 SHE방식이 훨씬더 유리하다.

SHE방식은 MAC방식에 비해 스위칭 횟수가 증가한다. 단국대학교 전력전자연구실에서 개발한 기법을 기반으로 제작한 직류전력 회생시스템의 용량은 위에서 밝혔듯이 1.5[MVA]이다. 그런데 최근 현장 실측결과에 따르면 회생시스템의 용량을 500[kVA] 정도로 줄이는 것이 경제적이라는 잠정 결론을 얻었다. 그러므로 시스템에 사용되는 반도체 스위칭소자의 용량을 줄일 수 있으며, 이에 따라 스위칭소자의 허용가능한 최대 스위칭주파수가 높아지므로 약간의 스위칭 횟수 증가는 문제가 되지 않는다.

MAC방식에서는  $\alpha$ 값의 계산이 복잡하지 않아서 실시간 적용에 별 문제가 없다. 이에 반해 SHE방식에서 스위칭각을 구하기 위해 사용한 Newton-Raphson 방법은 계산시간이 길어 실시간으로 스위칭각을 구하는 어렵다. 그러나 그림 7에서 알 수 있듯이 스위칭각의 변화가 입력전압에 대해 거의 선형적이므로 선형근사화가 가능하다. 따라서 조건표(look-up table)를 사용하거나 선형근사화기법을 사용하면 실제로 시스템에 적용하는데에 어려움이 없다.<sup>[6]</sup>

또한, MAC방식은 입력전압 제어범위인 204~234[V] 구간을 제외하면 THD가 상당히 크게 나타나지만, 본 연구에서 제안한 SHE방식의 경우는 제어범위 이외의 구간에서도 THD가 크게 증가하지 않는다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 직류를 전원으로 하는 전철시스템에서 직류모선의 잉여전력을 교류모선으로 회생시키는 직류전력 회생시스템에서 획기적으로 THD를 저감시킬 수 있는 기법을 제안하고, 시뮬레이션을 통하여 기존의 방식과 비교, 검토하였다.

기존의 방식인 MAC방식을 적용하면  $12k\pm 1$  차의 고조파가 남는다. 본 연구에서는 SHE방식을 제안하여 11차 및 13차 고조파를 추가로 제거하였으며 시스템의 출력단에 23차 교류필터를 설치하여 고조파를 더 저감시켰다. 그 결과, 기존의 MAC방식 적용시에 비해 현저하게 THD를 저감시킬 수 있었으며 제어범위로 선정한 180~210[V] 범위의 입력 직류전압에 대한 THD 값은 0.53~0.68[%] 정도이다.

본 논문의 결과는 대용량인 전철시스템에서 사용하는 전력의 양과 전철시스템이 증설 추세임을 고려하면 전기에너지 절약에 크게 기여할 수 있을 것으로 전망된다. 또한 제어범위를 확장하여도 THD가 별로 증가하지 않으므로 심야전력을 활용하는 전력저장시스템 등 보다 넓은 제어범위를 필요로 하는 시스템에도 적용할 수 있을 것이다.

이 연구는 2003학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.

### 참 고 문 헌

- [1] T. Suzuki and B. Tech, "DC Power-Supply System with Inverting Substations for Traction Systems Using Regenerative Brakes", *IEE Proceedings*, Vol. 129, Pt. B, No. 1, pp. 18~26, January 1982.
- [2] 서영민, 김경원, 윤인식, 이주훈, 유종걸, 윤덕용, 홍순찬, "α도통모드에 의한 직류전력 회생용 인버터 출력전압의 크기 제어", *전력전자학회 전력전자학술대회 논문집*, pp. 351~354, 2000. 7.
- [3] 홍순찬 외, 직류전력 회생용 인버터의 고효율 전력제어기술에 관한 연구, *에너지기술개발 연구보고서*, 2001. 10.
- [4] 김경원, 윤인식, 서영민, 윤덕용, 홍순찬, "직류전력 회생 시스템의 역률개선에 관한 연구", *전력전자학회 논문지*, 제6권, 제5호, pp. 410~415, 2001. 10.
- [5] 김경원, 서영민, 홍순찬, "회생전력 제어용 인버터 시스템의 구현에 관한 연구", *전력전자학회 논문지*, 제7권, 제2호, pp. 205~213, 2002. 4.
- [6] 최재호, 팽성일, 채경훈, "전류형 GTO 컨버터의 SHE PWM 실시간 제어기법", *전력전자학회 논문지*, 제4권, 제6호, pp. 523~530, 1999. 12.

### 저 자 소 개



**정우창(鄭又彰)**

1978년 1월 6일생. 2003년 단국대 공대 전기공학과 졸업. 2003년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.



**강경우(姜昊佑)**

1976년 1월 21일생. 2000년 단국대 공대 전기공학과 졸업. 2003년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정. 2001년~2002년 테크베이스자동차 근무.



**서영민(徐永珉)**

1974년 5월 5일생. 1997년 단국대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.



**홍순찬(洪淳瓚)**

1973년 서울대 전기공학과 졸업. 1975년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1975년~1978년 해군사관학교 교수부 전기공학과 전임강사. 1978년~현재 단국대 전기전자컴퓨터공학부 교수. 1986년~1987년 미국 텍사스 A&M 대학교 방문교수. 1997년~2000년 대한전기학회 이사. 2002년 당 학회 회장. 현재 단국대 공과대학 학장.