

論文98-35S-9-14

# LC 공진회로를 이용한 사이크로컨버터의 휴지기간 없는 극성절환 방법에 관한 연구

(A Study on the Polarity Changing Method without Dead Time of a Cycloconverter with an LC Resonant Circuit)

崔正秀\*, 曹圭珉\*\*, 金榮石\*

(Jung-soo Choi, Kyu-min Cho, and Young-seok Kim)

## 요 약

본 논문은 LC공진회로를 이용한 사이크로컨버터의 휴지기간 없는 극성절환 방법에 관한 것이다. 제안한 방법에 따르면 극성절환시 회로단락을 방지하기 위한 휴지기간이 요구되지 않는다. 따라서 제어 지연 및 출력 전류의 고조파성분이 감소하게 된다. 그리고 제안한 방법은 비순환전류형의 다른 자연전류형 사이크로컨버터에도 확장될 수 있다. 본 논문에서는 휴지기간 없는 극성절환의 스위칭 방법에 대하여 검토하였으며 제안한 방법의 유용성을 확인하기 위하여 LC공진회로를 이용한 사이크로컨버터에 적용실험을 수행하였다.

## Abstract

This paper presents a polarity changing method without dead time of a cycloconverter with an LC resonant circuit. According to the proposed method, dead time to prevent short circuit for the polarity changing is not required. Therefore the delay of control and the harmonic components of output currents can be decreased. And the proposed method can be expanded for the other natural commutated cycloconverters of noncirculating current type. In this paper, the switching method of the proposed polarity changing without dead time is studied, and in order to confirm the validity of the proposed method the experiment is carried out with a cycloconverter with an LC resonant circuit.

## I. 서 론

현재 산업현장의 주된 동력원인 전동기의 분야는 종래의 직류전동기가 갖는 유지보수 및 고압, 대용량화를 해결하기 위하여 거의가 교류전동기의 가변속 운전으로 전환되고 있다. 이는 VVVF(Variable Voltage Variable Frequency)전원인 인버터 기술의 발달과

더불어 교류전동기 벡터제어 기술이 발달함에 따라 가능해진 결과이다. 이러한 VVVF용 전원으로 인버터뿐만 아니고 사이크로컨버터라는 직접변환방식의 변환기도 있으나, 중형 이하의 경우에는 주회로 및 제어회로의 복잡성, 출력주파수의 한계성 등의 단점으로 인하여 거의 사용되고 있지 않다. 그러나 사이크로컨버터는 다이리스터를 사용하기 때문에 고압, 대용량화가 용이하고 효율 및 신뢰성이 높기 때문에 저속 대용량의 경우에는 많은 장점을 갖는다. 전동기의 구동에 있어서는 토크 리플 등의 저속특성이 우수하여 산업현장에 있어, 고성능이 요구되는 제철소의 압연기나 광산의 권상기 또는 Cement Kiln 등의 저속 기어리스 구동 및 가변속 양수 발전 시스템, 유도가열장치, 자기

\* 正會員, 仁荷大學校 電氣工學科  
(Dept. of Electrical Eng., Inha University)

\*\* 正會員, 柳韓大學 情報通信科  
(Dept. of Information & Communications, Yuhan College)

接受日字: 1997年12月30日, 수정완료일: 1998年9月1日

부상열차 등 여러분야의 대용량 VVVF전원에 많이 이용이 되고 있다. 이와 같이 선진 기술국에서는 사이크로컨버터에 대한 연구개발이 이미 오래 전부터 진행이 되어 많은 요소에 실용하고 있는 상황이다. 그러나 국내의 경우 이들 선진 기술국에 의해 개발된 제품을 그대로 들여와야 하는 상황이며, 특히 이들 자연전류형 사이크로컨버터에 관련된 연구가 미흡한 실정이다. 따라서 대용량 변환기에 대한 선진국 수준의 기술축적 및 수입대체 효과와 국제시장의 수출경쟁력 확보의 면에서도 이에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다.<sup>[11-8]</sup>

그러나 최근 전력변환기술은 DC/DC 컨버터들이나 전력변환기들이 갖는 입력역률의 개선 및 고조파문제에 대한 연구를 비롯하여 다이오드 정류기들의 고입력역률을 위한 제어기술 혹은 강제소호형 소자인 트랜지스터나 GTO등을 이용하는 AC/AC 컨버터들에 대한 연구가 주류를 이루고 있다.<sup>[9,10]</sup> 이러한 중에서도 Kassakian씨 등은 점호각 또는 전원의 불평형이 상간 변압기를 갖는 12펄스 정류기를 구성하는 6펄스 브리지 컨버터들의 전류불평형에 미치는 영향을 정량적으로 해석하였다. 12펄스 정류기의 출력을 역병렬로 취하면 곧바로 12펄스 사이크로컨버터가 되므로 이는 12펄스 사이크로컨버터에도 유용한 해석결과로 평가된다.<sup>[11]</sup>

또한 Losic씨는 다이리스터 제어 정류기의 해석을 위한 모델링 기법을 제안하여 다이리스터 컨버터들의 컴퓨터 모의실험에 유용함을 밝히고 있고, Slonim씨 등도 단상/단상 사이크로컨버터의 정상상태 동작해석을 수식적인 방법으로 접근하여 보다 구체적으로 사이크로컨버터들의 동작상태를 해석할 수 있도록 하고 있다. 이의 결과를 이용할 경우 출력 전류의 값을 수식적으로 계산할 수 있기 때문에 사이크로컨버터의 주변 제어 회로인 전류보호판별회로의 생략가능성을 보여주고 있고, 이 연산된 전류정보를 이용하면 극성전환시점을 예측할 수 있으므로 보다 빠른 극성전환이 가능할 것으로 판단된다. 그러나 실제 산업현장에 적용할 수 있을 만큼의 신뢰성을 지니지는 못한 것으로 판단된다.<sup>[12,13]</sup>

필자들은 이미 LC공진회로를 이용한 사이크로컨버터 시스템을 유도가열용 전원 및 교류전동기 가변속 구동용 전원으로써 제안한 바 있으며 지속적으로 이에 관한 연구를 수행해 오고 있다.<sup>[14-16]</sup> 비순환전류형의 자연전류형 사이크로컨버터들은 정군 컨버터와 부

군 컨버터의 극성전환시 회로의 단락을 방지하기 위하여 일정시간의 휴지기간을 두어 운전을 행하여야 한다. 이는 필자들이 제안한 LC공진회로를 이용한 사이크로컨버터 등 모든 비순환 자연전류(自然轉流)형 사이크로컨버터의 경우에 있어 해당되는 사항이다. 이러한 사이크로컨버터의 극성전환시에는 사용 소자의 최소전류유지시간과 일정한 여유시간을 더한 휴지기간을 두어야 그 안전성을 보장할 수 있기 때문에 이는 피할 수 없는 단점으로 지적되어 왔다. 따라서 비순환 자연전류형 사이크로컨버터의 극성전환시 휴지기간으로 인하여 출력파형이 불연속으로 됨으로써 출력파형에 고조파를 증가시키게 되며, 또한 주파수를 더 이상 높일 수 없는 제약을 받게 된다. 특히, 대용량이 될수록 사용되는 다이리스터의 최소전류유지시간이 길어지게 되므로 이러한 문제점은 더욱 커지게 된다.

본 연구에서는 LC 공진회로를 이용한 사이크로컨버터의 주회로 동작해석 및 극성전환 메카니즘 분석결과를 토대로 휴지기간을 두지 않고도 사이크로컨버터의 극성을 전환할 수 있는 알고리즘을 제시하였으며 실험을 통하여 제안한 방법의 타당성을 입증하고자 하였다.

## II. LC 공진회로를 이용한 사이크로컨버터

그림 1에 LC 공진회로를 이용한 사이크로컨버터의 주회로를 나타내었다. 이는 입력전류의 평활 및 입력전력의 제어에 필수적인 입력필터, 3상/단상 사이크로컨버터, LC 병렬공진 탱크회로로 구성되어 있다. 탱크회로의 공진 인덕터를 가열용 코일로 하면 그대로 유도가열용 전원으로 이용이 될 수 있으며 기타 목적의 단상 고주파 전원으로도 이용이 가능하다. 탱크회로의 주파수는 수 KHz까지 구동이 가능하므로 단상/3상 사이크로컨버터를 병렬로 접속하면 수 백 Hz의 출력이 가능한 3상 VVVF전원으로써 유도기 가변속 구동용 전원시스템으로 유용하다. 그림에서  $V_a$ ,  $V_b$ 는 각각 탱크회로의 가상중성점에 대한 탱크전압이다. 본 사이크로컨버터는 탱크회로를 전류(commutation)용 전원으로 하여 동작되므로 사이크로컨버터의 고주파전류 및 저주파전류는 그림에 나타난 바와 같이 탱크회로에서 전원 측으로 흐를 때를 정(+)으로 정의하였다. 따라서 사이크로컨버터 저주파전류는 전원으로부터의 입력전류와 그 부호가 반대이므로 사이크로컨버터의 저주파전류의 위상이 입력전원전압의 위상에 대하여

반전되도록 사이크로컨버터의 저주파전류를 제어하면 입력기본파역률을 1로 유지할 수 있다.

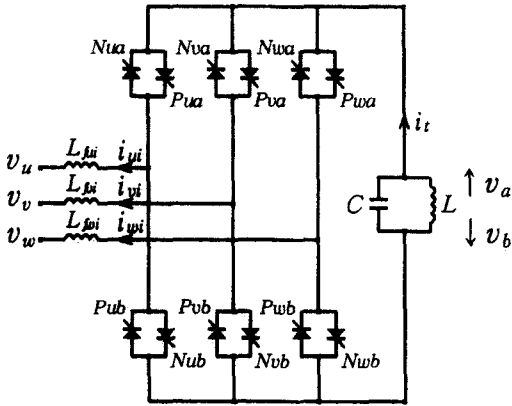


그림 1. LC 공진회로를 이용한 사이크로컨버터의 주 회로도

Fig. 1. Main circuit configuration of cyclo-converter with an LC resonant circuit.

### III. 휴지기간 없는 극성절환 알고리즘

먼저 본 사이크로컨버터의 저주파전류의 극성이 절환되는 시점에 있어서의 회로동작을 U상의 전류가 음에서 양으로 절환되는 경우를 일례로 살펴보기로 한다. U상의 전류가 음에서 양으로 절환되기 직전 U상은 다이리스터 Nua 또는 다이리스터 Nub를 통하여 전류가 흐를 수 있다. 만일 그림 2의 (a)에 나타낸 바와 같이 다이리스터 Nua를 통하여 음의 전류가 흐르다 0으로 되는 경우에 전류의 극성절환을 위하여 다이리스터 Pub를 점호시킨다면 다이리스터 Nua가 완전히 소호되지 않았을 경우 그림 2의 (b)에 나타낸 바와 같이 다이리스터 Nua와 다이리스터 Pub는 탱크회로를 단락 시키게 된다. 그러나 그림 2의 (c)에 나타낸 바와 같이 다이리스터 Pua를 점호시킨다면 다이리스터 Nua가 완전히 소호되지 않았다 하더라도 탱크회로의 단락은 일어나지 않는다. 이와 같이 극성절환이 행해진 이후에는 그림 2의 (d)에 나타낸 바와 같이 다이리스터 Pub를 점호시키고 다음에 또다시 다이리스터 Pua를 점호시키는 방식으로 운전을 한다면 극성절환시 휴지기간을 두지 않고서도 운전이 가능함을 알 수 있다. 만일 다이리스터 Nub를 통하여 음의 전류가 흐르다 0으로 되는 경우에 있어서는 극성절환 초기시 다이리스터 Pub를 점호시킨다면 탱크회로의 단락을 방

지할 수 있다. 마찬가지로 양의 전류가 흐르다 0으로 되는 경우에는 전류가 다이리스터 Pua를 통하고 있을 때는 다이리스터 Nua를, 다이리스터 Pub를 통하고 있을 때는 다이리스터 Nub를 극성절환시의 초기 점호소자로 결정하면 탱크회로의 단락을 방지할 수 있으므로 극성절환시 휴지기간을 두지 아니하고도 운전이 가능하다.

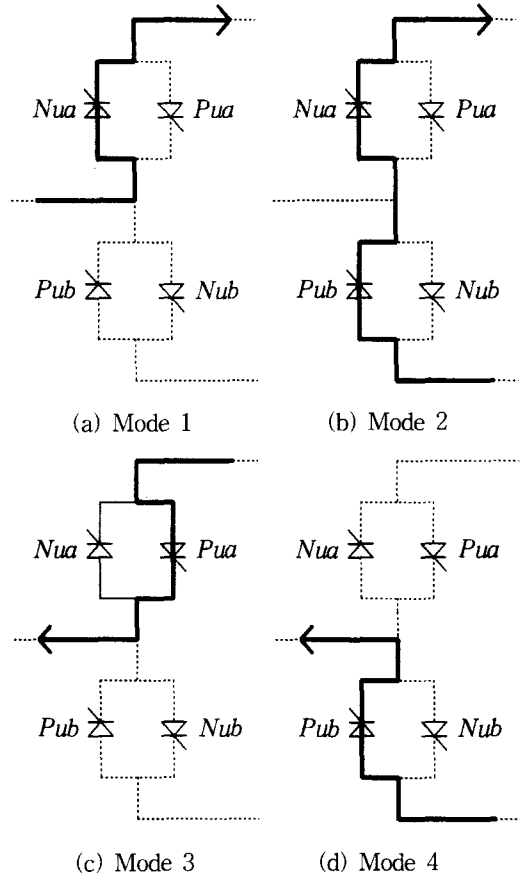


그림 2. 극성절환시의 동작모드

Fig. 2. Operating modes for the polarity changing.

이상의 결과를 정리하여 극성절환시 휴지기간을 두지 아니하고 운전하기 위해 극성절환 초기시에 점호되어야 할 점호소자들을 표 1에 나타내었다. 표 1에 나타낸 것과 같이 극성절환을 위하여 점호시킬 소자를 결정하기 위하여는 반드시 현재 통전되고 있는 소자가 어느 소자인지를 알고 있어야만 하므로 이를 위한 회로의 부가 또는 시스템이 마이크로프로세서에 의하여 운전되는 경우라면 부가적인 소프트웨어가 소요되어야 한다. 그러나 이는 본 사이크로컨버터의 극성절환시의

메카니즘을 면밀히 분석한 결과 단순히 탱크전압의 부호판별로써 휴지기간을 두지 않는 극성전환을 위하여 극성전환시 초기에 점호시킬 소자를 판단할 수 있음을 알 수 있었다. 이에 대하여 상세히 언급하기로 한다.

표 1. 휴지기간 없는 극성전환이 가능한 초기점호소자

Table 1. Initial firing devices for the polarity changing without dead time.

상	전류극성변화	현재통전소자	초기점호소자
U	음 --> 양	$N_{ua}$	$P_{ua}$
		$N_{ub}$	$P_{ub}$
	양 --> 음	$P_{ua}$	$N_{ua}$
		$P_{ub}$	$P_{ub}$
V	음 --> 양	$N_{va}$	$P_{va}$
		$N_{vb}$	$P_{vb}$
	양 --> 음	$P_{va}$	$N_{va}$
		$P_{vb}$	$N_{vb}$
W	음 --> 양	$N_{wa}$	$P_{wa}$
		$N_{wb}$	$P_{wb}$
	양 --> 음	$P_{wa}$	$N_{wa}$
		$P_{wb}$	$N_{wb}$

먼저 그림 3은 임의의 한 상에 대한 사이크로컨버터의 저주파측 등가회로 이다. 그림에서  $V_i$ 는 입력전원전압이고  $I$ 는 사이크로컨버터 저주파전류,  $L_f$ 는 입력 필터인덕턴스,  $V_o$ 는 사이크로컨버터의 저주파전압이다. 이 등가회로로부터

$$\frac{di}{dt} = \frac{1}{L_f} (V_i - V_o) \quad (1)$$

이 성립함을 알 수 있다.

그림 4에 전류가 0이 되는 상황의 전류 파형을 나타내었는데 바 그림 4의 (a)와 같이 전류가 음이다가 0으로 되는 경우에 있어서는 항상  $\frac{di}{dt} > 0$  이고 이와는 반대로 전류가 양이다가 0으로 되는 경우에 있어서는 항상  $\frac{di}{dt} < 0$  임을 알 수 있다.

한편, 본 사이크로컨버터는 입력기본과역률을 항상 1로 제어하여 운전되므로 저주파전류의 위상과 입력전압  $V_i$ 의 위상은 반전되므로 극성전환시 입력전압의 크기는 거의 0이되므로 극성전환시점에 있어서

$$\text{sign} \left( \frac{di}{dt} \right) = \text{sign} (V_i - V_o) \approx \text{sign} (V_i) \quad (2)$$

가 됨을 알 수 있다. 통상 탱크전압의 크기가 입력전압 보다 수배 크게 운전되고 그 주파수도 수십 배에

달하며 다이리스터의 최소전류유지시간 이상의 전류유지를 두어 전류를 행하기 때문에 본 사이크로컨버터의 특성상 전류변화율의 부호는 그대로 탱크전압의 부호와 일치하게 된다. 즉, 전류가 음이다가 0으로 되는 경우에 있어서는 탱크전압  $V_a, V_b$  중 양인 전압이 사이크로컨버터의 저주파전압이 되고 전류가 양이다가 0으로 되는 경우에 있어서는 탱크전압  $V_a, V_b$  중 음인 전압이 사이크로컨버터의 저주파전압이 되므로 전류 극성전환시 음전류에서 양전류로 전환하는 경우에는 사이크로컨버터의 고주파측의 2상 중 탱크전압이 양인 상에 연결된 다이리스터를 점호시키면 되고 양전류에서 음전류로 전환하는 경우에는 사이크로컨버터의 고주파측의 2상 중 탱크전압이 음인 상에 연결된 다이리스터를 점호시키면 휴지기간 없는 극성전환이 가능하게 된다. 입력의 3상에 대하여 동일한 조건이므로 이에 따른 극성전환시의 선택할 점호소자를 표 2에 나타내었다.

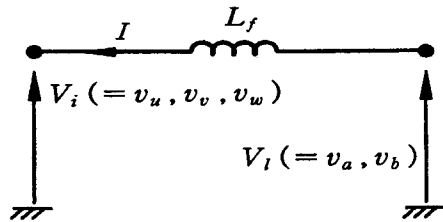


그림 3. 저주파측 등가회로

Fig. 3. Equivalent circuit of low frequency side.

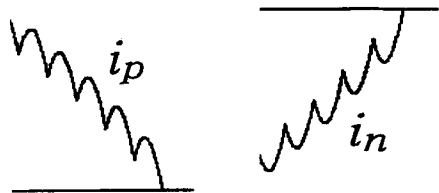


그림 4. 극성전환시의 전류파형

Fig. 4. Current waveforms at polarity changing.

표 2. 탱크전압 부호에 따른 초기점호소자

Table 2. Initial firing devices by the sign of tank voltage.

전류극성변화	탱크전압	초기점호소자
음 --> 양	$V_a > 0$	$P_{ua}, P_{va}, P_{wa}$
	$V_b > 0$	$P_{ub}, P_{vb}, P_{wb}$
양 --> 음	$V_a < 0$	$N_{ua}, N_{va}, N_{wa}$
	$V_b < 0$	$N_{ub}, N_{vb}, N_{wb}$

IV. 실험 결과 및 고찰

실험에 사용된 주요 시스템 정수들은 입력 상전압 50 [V], 입력 필터 인덕턴스 10 [mH], 탱크전압지령 200 [V], 탱크회로 커패시턴스 31.5 [μF], 탱크회로 인덕턴스 0.67 [mH] 등이며 시스템 제어 블록도는 그림 5와 같다. 전류부호 판별회로의 정보로부터 극성절환이 요구되어지면 탱크전압부호 판별회로의 정보를 가지고 표 2에 나타낸 바와 같이 극성절환 초기에 접호시켜야할 소자를 접호신호 선택기에서 결정하여 휴지기간 없는 극성절환을 수행하였다. 극성절환이 이루어진 이후에는 전류오차 영점 또는 전류오차의 부호에 따라 최대/최소전압발생 점호각에서 점호를 시켜 입력전류를 제어하였다. 본 실험에서 적용한 전류제어 방식은 필자들이 기 제안한 지령전류 직접 추종방식의 전류제어방법을 적용한 것이며 문헌 [15]에 이에 대한 상세한 내용이 기술되어 있으므로 본 논문에서는 구체적인 것은 생략하기로 한다. 제어 블록도는 문헌 [15]에 제시된 것과 동일하지만, 접호신호 선택기에 본 논문에서 제안한 극성절환 알고리즘이 수행되도록 그 기능을 추가한 것이다.

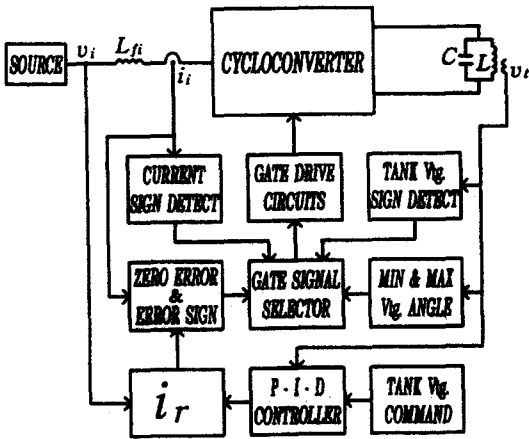
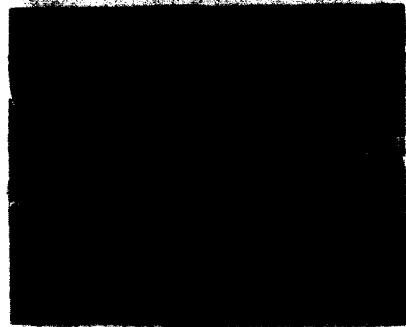


그림 5. 제어 블록도  
Fig. 5. Control block diagram.

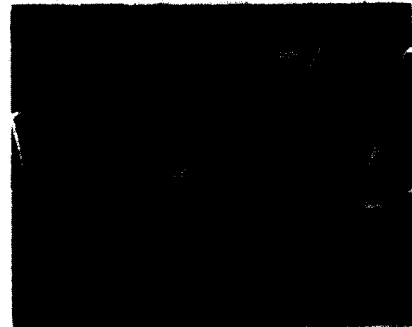
실험 결과로써 먼저, 그림 6의 (a)와 그림 6의 (b)는 각각 전류가 음에서 양으로 절환되는 경우 및 전류가 양에서 음으로 절환되는 경우에 있어서의 탱크회로 가상 중성점에 대한 사이크로컨버터 저주파전압 및 사이크로컨버터 저주파전류 파형으로 종래와 같이 극성절환시 휴지기간을 두어 운전하였을 경우이다. 전류가

0인 휴지기간 동안에는 탱크전압은 사이크로컨버터의 저주파측에 나타나지 않음을 알 수 있으며 저주파전압이 0이 아닌 이유는 입력 전원전압이 입력 필터 인덕턴스를 거쳐 사이크로컨버터의 저주파측에 나타나기 때문이다. 그림 7은 본 논문에서 제안한 알고리즘에 의하여 휴지기간 없이 전류의 극성을 절환시킨 경우의 파형이다. 전류의 단속없이 자연스럽게 전류의 극성이 절환됨을 알 수 있다. 그러나 전류 극성절환은 정, 부컨버터의 절환에 의해 이루어지므로 전류가 0인 순간 정, 부컨버터의 절환에 따라 사이크로컨버터의 저주파전압은 일시적으로 단속이 일어남을 알 수 있다. 이 단속 기간은 현재 통전되고 있는 소자가 완전히 소호됨과 동시에 새로이 점호되는 소자가 완전히 점호되는 기간이 된다.



50 [V/div] , 1 [A/div] , 0.2 [msec/div]  
(a) 음전류 -> 양전류의 경우

(a) Case of from negative current to positive current



50 [V/div] , 1 [A/div] , 0.2 [msec/div]  
(b) 양전류 -> 음전류의 경우

(b) Case of from positive current to negative current

그림 6. 휴지기간이 있는 사이크로컨버터 저주파측 파형

Fig. 6. Low frequency side waveforms of cycloconverter with dead time.



50 [V/div] , 1 [A/div] , 0.2 [msec/ div]  
 (a) 음전류 -> 양전류의 경우

(a) Case of from negative current to positive current



50 [V/div] , 1 [A/div] , 0.2 [msec/ div]  
 (b) 양전류 -> 음전류의 경우

(b) Case of from positive current to negative current

그림 7. 휴지기간이 없는 사이크로컨버터 저주파측 파형  
 Fig. 7. Low frequency side waveforms of cycloconverter without dead time.



5 [A/div] , 2 [msec/ div]

그림 8. 전류파형의 비교 (a: 휴지기간이 있는 경우, b: 휴지기간이 없는 경우)

Fig. 8. Comparison of the current waveforms.  
 (a: operating with deadtime, b: operating without deadtime)

그림 8에 극성절환시 휴지기간을 두어 운전하였을 경우와 휴지기간을 두지 않고 운전하였을 경우의 사이크로컨버터 저주파전류를 비교하여 나타내었다. 이는 두 대의 시스템을 운전한 것은 아니고 운전 방식을 달리하여 각각 측정한 파형을 스토리지 오실로스코프에 축적하였다가 동시에 비교한 것으로 그림 8의 (a)는 휴지기간을 두어 운전한 경우이고 그림 8의 (b)는 휴지기간을 두지 않고 운전한 경우이다. 휴지기간을 두지 않고 운전했을 경우가 전류 0점 부근에 있어 보다 자연스러운 전류파형을 유지할 수 있음을 알 수 있다. 또한 그림 8의 (a)의 전류파형이 그림 8의 (b)의 전류파형보다 다소 불안정한 이유는 휴지기간을 둘 경우 휴지기간 동안 전류의 추종이 불가능하므로 휴지기간 이후 급격히 지령전류를 추종하려다보니 전반적으로 불안정한 운전이 이루어졌기 때문인 것으로 판단된다. 그림 8의 (a) 및 그림 8의 (b)의 전류파형에 대한 THD(Total Harmonic Distortion) 측정결과 각각 8.84 [%], 8.31 [%]로 극성절환시 휴지기간을 두지 않고 운전을 행한 경우가 다소 고조파 발생량이 적었음을 알 수 있었다.

### V. 결 론

본 논문에서는 LC 공진회로를 이용한 사이크로컨버터의 극성절환시의 회로분석을 바탕으로 수립된 휴지기간 없는 극성절환 알고리즘을 제시하고, 실험을 수행한 결과로써 제안한 방법의 타당성을 입증하였다. 사이크로컨버터의 극성절환시 휴지기간 없이 운전이 가능해짐에 따라 사이크로컨버터 저주파전류 파형의 단속을 없앨 수 있었으며 그 결과 고조파가 감소된 개선된 전류 파형을 얻을 수 있었다. 본 논문에서 제안한 휴지기간 없는 극성절환의 원리는 본 사이크로컨버터 뿐만 아니라 여타의 비순환전류형의 자연전류형 사이크로컨버터에도 가능하며 각각의 사이크로컨버터 회로에 따라 적용 알고리즘을 도출하면 될 것으로 판단된다. 따라서 추후의 연구과제로는 현재 대용량 사이크로컨버터로 많이 사용이 되고 있는 6펄스 및 12펄스 사이크로컨버터의 적용 알고리즘 개발과 이에 대한 실험을 수행하는 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Hideo Hakata et al., "Cycloconverter and its Application", Toshiba Review Vol. 39, No. 12, pp. 1027-1030, 1984.
- [2] Tsugunori Kuga et al., "World's First Cycloconverter Application to Induction Motor-Powered Mine Hoist Drive Systems", Toshiba Review Vol. 151, pp. 17-20, 1985.
- [3] Kiyoshi Sato et al., "AC Motor Drive Systems for Rolling Mills", 日立評論 Vol. 68, No. 8, pp. 11-16, 1986.
- [4] Eiji Haraguchi et al., "Developments of an Adjustable Speed Operation System to Applied to Pumping and Generation Units", 日立評論 Vol. 70, No. 8, pp. 15-22, 1988.
- [5] 大塚貞正 外, "熱間壓延プラント用電氣品", 三菱電氣技報 Vol. 64, No. 12, pp. 6-12, 1990.
- [6] 岡部淳一浪 外, "サイクロコンバータ駆動同期電動機の壓延主機への適用", 三菱電氣技報 Vol. 64, No. 12, pp. 13-18, 1990.
- [7] Takashige Saijo et al., "Characteristics of Linear Synchronous Motor Drive Cycloconverter for Marlev Vehicle ML-500 at Miyazaki Test Track", IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. IA-17, No. 5, 1981.
- [8] Theodor Salzmann, "Cycloconverter and Automatic Control of Ring Motors Driving Tube Mills", Siemens Review XLV, 1, 3, 1978.
- [9] Ivo Barbi et al., "Design Oriented Analysis of a High Power Factor and Low Cost Three-Phase Rectifier", IEEE PESC'96, pp. 165-170, 1996.
- [10] R.L.A Ribeiro et al., "AC/AC Converter with Four Switch Three Phase Structures", IEEE, PESC'96, pp. 134-139, 1996.
- [11] John G. Kassakian et al., "Effects of Firing Angle Imbalance on 12-Pulse Rectifiers with Interphase Transformers", IEEE Trans. PE, Vol. 10, No. 3, 1995.
- [12] M.A. Slonim et al., "Analytical Approach to Analysis of Steady-State Processes in a Single Phase Cycloconverter", IEEE PEDS'95, pp. 152-154, 1995.
- [13] Novica A. Losic, "Modeling, Analysis And Simulation of Controlled Rectifiers with Thyristors", IEEE PEDS'95, pp. 162-167, 1995.
- [14] 조규민 외 1인, "공진회로를 이용한 사이크로콘버터에 의한 유도전동기 구동", 전기학회논문지 41권 2호, pp. 125-134, 1992
- [15] 조규민 외 1인, "고주파 LC 탱크회로를 이용한 사이크로콘버터의 새로운 전류제어법", 전기학회 논문지 42권 3호, pp. 7-18, 1993
- [16] 조규민 외 1인, "교류전동기 가변속 구동을 위한 LC 공진회로를 이용한 사이크로콘버터 전류제어 시스템", 전기학회논문지 43권 9호, pp. 1450-1462, 1994

## 저 자 소 개

## 崔 正 秀(正會員)

1965년 10월 7일생. 1992년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 인하대 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1995년 - 1996년 LG 산전연구소 연구원. 현재 인하대 대학원 전기공학과 박사과정.

## 金 榮 石(正會員)

1951년 6월 11일생. 1977년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 일본 나고야대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1987년 - 1989년 한국전기연구소 선임연구원, 실장. 현재 인하대 공대 전기공학과 교수.

## 曹 圭 珉(正會員)

1961년 4월 22일생. 1985년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 인하대 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1994년 인하대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 유한대학 정보통신과 조교수.