

# 입력 전원 외란 상황에서의 신경회로망 기반 전류 보상기를 이용한 매트릭스 컨버터의 출력 전류 개선

李恩實\*, 朴基佑\*, 李敎範†

## Improving the Output Current of Matrix Converter under Abnormal Input Voltage Conditions using a Neural Network Compensator

Eunsil Lee, Kiwoo Park, and Kyo-Beum Lee

### 요 약

매트릭스 컨버터는 3상의 입력 전원이 전력용 반도체 스위치의 제어를 통해 3상의 부하에 직접 연결되는 에너지 변환 장치이다. 에너지 저장을 위한 직류단이 없어 매트릭스 컨버터의 입력 전류는 부하 전류와 스위치 상태에 직접 의존한다. 그러므로 불평형 또는 왜곡된 입력 전압은 원치 않은 출력 고조파 전류의 원인이 된다. 본 논문에서는 매트릭스 컨버터의 입력 전원 외란 상황에서 출력 전류를 개선하는 신경회로망 기반 전류 보상기를 제안한다. 제안된 기법 타당성과 유효성을 시뮬레이션과 실험을 통해 증명한다.

### ABSTRACT

Matrix converter is an energy conversion device of controlled power semiconductor switches that directly connects the three-phase source to the three-phase load. With no dc-link components for energy storage in the matrix converter the input current depends directly upon the load currents and the switch state of the converter. Therefore the unbalanced and distorted input voltages can result in unwanted output harmonic currents. This paper presents a current compensator based on neural network to improving output current quality for matrix converter under abnormal input voltage conditions. The effectiveness and feasibility of the proposed technique has been proven through numerical simulations and experimental tests.

**Key Words** : Matrix converter, Neural network, Current compensator, Abnormal input voltage, Compensation

## 1. 서 론

3상 입력 전원이 3x3 매트릭스 형태의 전력용 반도체 스위치를 사용하여 3상 부하에 직접 연결되는 구조를 가진 매트릭스 컨버터는 이 9개의 전력용 반도체 스위치를 적절한 변조기법을 사용하여 가변 전압, 가

변 주파수의 출력 전압을 합성한다. 매트릭스 컨버터는 직류단에 요구되는 전해 커패시터가 필요 없다. 전해 커패시터는 부피가 크고 수명을 단축시키는 등 많은 단점을 가지는데, 이러한 전해 커패시터의 무사용으로 소형화, 장수명화, 저가격화 할 수 있다. 또한 매트릭스 컨버터는 에너지의 양방향 흐름이 가능하다. 이는 4상한 운전이 가능해지므로 회생운전이 필요한 부하에서 상당한 에너지 절약을 할 수 있다<sup>[1][3]</sup>.

그럼에도 불구하고 매트릭스 컨버터는 직류단의 부재로 출력 전류는 입력 전원 외란에 민감하게 반응한다. 왜곡되거나 불평형의 입력 전원은 매트릭스 컨버

†교신저자 : 정희원, 아주대 전자공학부 부교수

E-mail : kyl@ajou.ac.kr

\*학생회원 : 아주대 전자공학부 석사과정

접수일자 : 2010. 3. 15                      1차 심사 : 2010. 4. 13

2차 심사 : 2010. 4. 14                      심사완료 : 2010. 4. 16

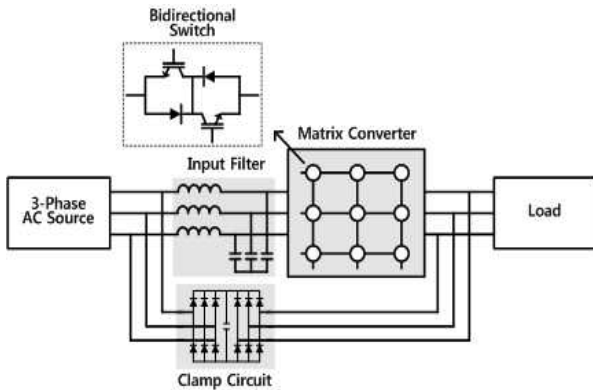


그림 1 매트릭스 컨버터의 기본회로  
Fig. 1 Basic scheme of a matrix converter

터의 출력에 직접 영향을 미치며, 출력 전류에 원하지 않는 고조파를 만들어 부하의 성능을 악화시킨다. 이러한 입력 전원의 외란에 민감한 매트릭스 컨버터의 출력을 보상하는 기법들이 제시되고 있다<sup>[4]~[8]</sup>.

[4]와 [5]에서는 입력 전압의 순시값을 측정하여 피드포워드 보상 방법을 통해 입력 전압의 불평형에서 평형 정현파와 출력 전류를 얻는 방법을 제시하였다. [6]에서는 피드포워드와 PI 기반의 보상 기법을 제안하였으며, [7]에서는 두 개의 입력 전압의 순시값을 측정하여 전압 이득의 계산을 통한 출력 전류 보상기법을, [8]에서는 출력 전류의 순시값을 측정하여 퍼지 논리 제어기 통해 왜곡된 입력 전압에서의 출력 전류 보상 기법을 제시하였다.

본 논문에서는 매트릭스 컨버터의 입력 전원의 외란의 악영향을 줄이기 위해 신경회로망 기반 전류 보상을 이용한 출력 전류 개선 기법을 제안한다. 신경회로망의 학습 능력을 이용하여 제어환경 변화에 대한 빠른 응답을 요구하는 매트릭스 컨버터에 적합함을 보이고 시뮬레이션과 실험 결과를 통하여 입력 전원의 외란에 대한 왜곡된 출력 전류의 보상을 증명한다.

## 2. 매트릭스 컨버터

기존의 AC-DC-AC 간접방식의 컨버터는 직류단으로 분리되어 있지만 AC-AC 직접 전력 변환방식의 매트릭스 컨버터는 부피가 큰 직류단 없이 입력 전원이 전력용 반도체 스위치를 통해 부하에 직접 연결되어 있다. 전력용 반도체 스위치는 절절한 변조기법에 의해 제어되며 각 상에서 요구되는 가변 전압, 가변 주파수의 출력전압을 합성한다. 그림 1은 기본적인 매트릭스 컨버터를 나타낸다. 3상 매트릭스 컨버터는 9개

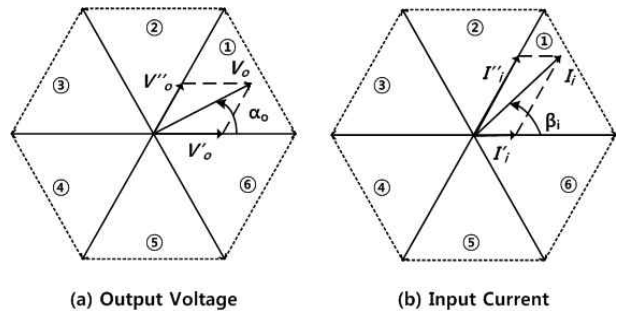


그림 2 SVM을 이용한 지령 전압 벡터 생성  
Fig. 2 Generation of the reference voltage vectors using SVM

의 전력용 반도체 스위치로 전력회로를 구성되며, 고조파 규격을 만족시키기 위한 입력단의 LC필터와 전력용 반도체 스위치의 보호를 위한 다이오드 클램프 회로로 이루어진다.

매트릭스 컨버터에서 사용되는 공간 벡터 변조기법(Space Vector Modulation: SVM)은 3상 입력 전류와 출력 선간 전압을 그림 2와 같이 공간 벡터로 나타낸다. 두 개의 근접한 벡터와 영전압 벡터를 이용해 입력 전류 벡터와 출력 전압 지령 벡터를 합성한다.

지령 벡터의 크기는 인접한 두 기준 벡터의 변조 통류율(duty ratio)에 의해 결정되며 다음 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned}
 d_1 &= \frac{2}{\sqrt{3}} q \cos\left(\alpha_o - \frac{\pi}{3}\right) \cos\left(\beta_i - \frac{\pi}{3}\right) \\
 d_2 &= \frac{2}{\sqrt{3}} q \cos\left(\alpha_o - \frac{\pi}{3}\right) \cos\left(\beta_i + \frac{\pi}{3}\right) \\
 d_3 &= \frac{2}{\sqrt{3}} q \cos\left(\alpha_o + \frac{\pi}{3}\right) \cos\left(\beta_i - \frac{\pi}{3}\right) \\
 d_4 &= \frac{2}{\sqrt{3}} q \cos\left(\alpha_o + \frac{\pi}{3}\right) \cos\left(\beta_i + \frac{\pi}{3}\right) \\
 d_0 &= 1 - (d_1 + d_2 + d_3 + d_4)
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서  $q$ 는 전압 이득을 나타내고,  $d_0$ 시간은 영전압 벡터의 인가 시간으로 설정하여 하나의 스위칭 주기를 완성한다<sup>[9]</sup>.

## 3. 제안하는 기법

### 3.1 매트릭스 컨버터의 전원 외란 상황

매트릭스 컨버터에서 사용되는 공간 벡터 변조기법은 정상적 입력 전압 상태에서 고정된 스위칭 패턴이 적용되며 전력용 반도체 스위치들의 통류율은 미리 계산된다. 입력의 왜곡은 컨버터의 출력에 그대로 영향

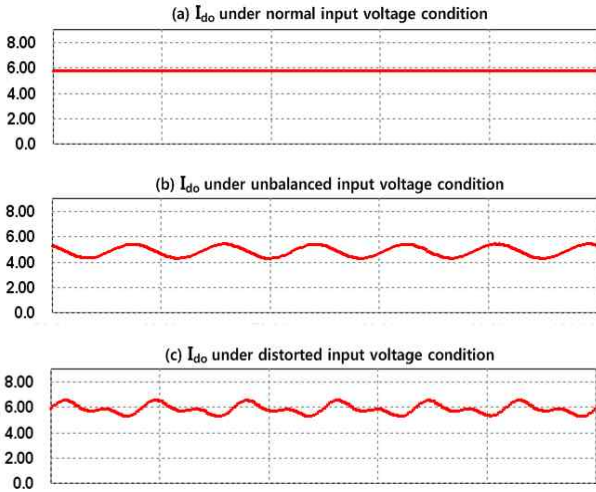


그림 3 출력 전류 공간 벡터의 크기(10ms/div)  
Fig. 3 The magnitude of output current space vector

을 주기 때문에 이러한 고정된 스위칭 패턴들의 사용은 적절하지 않다. 그러므로 스위칭 패턴의 통류율은 각각의 샘플링 주기에 따라 출력 전류를 추정함으로써 바로 계산되어야 한다.

매트릭스 컨버터의 출력 전류 공간 벡터의 크기( $I_{do}$ )를 다음 식 (2)와 같이 정의한다<sup>[6]</sup>.

$$I_{do} = \left( \frac{2}{3} \sum_{j=a,b,c} i_j^2(t) \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

매트릭스 컨버터에 3상 정현파가 입력으로 들어간다면  $I_{do}$ 는 일정한 상수 값이다. 그러나 매트릭스 컨버터는 입력이 출력과 전력용 반도체 스위치로만 연결되어 직류단과 같은 역할을 해주는 소자가 없기 때문에 입력의 외란이 그대로 출력으로 전달되어 전원 외란 상황에서의  $I_{do}$ 는 일정하지 않다. 여기서 전원 외란 상황을 불평형 상태와 고조파를 주입한 왜곡된 상태로 나누었다. 그림 3은 각각의 상태에서 매트릭스 컨버터의 출력 특성을 나타낸다. 매트릭스 컨버터의 입력이 불평형 또는 왜곡되면 출력 전류 공간벡터의 크기는 리플성분을 포함한다.

### 3.2 신경회로망

신경회로망은 학습에 의해 정보를 얻고, 저장하고, 활용하는 기능을 갖추었다. 이런 다양한 기능은 여러 분야에 적용되고 있으며 제어분야 응용을 위하여 사용하는 경우, 학습에 의한 지속적인 성능개선과 제어환

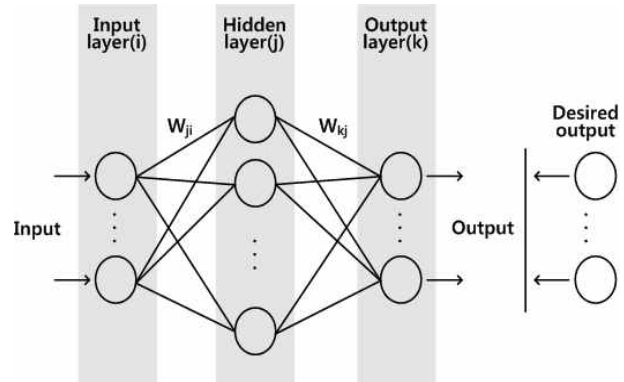


그림 4 신경회로망 구조  
Fig. 4 Structure of neural network

경 변화에 대한 견고성 등으로 수학적 제어이론보다 실용적이다. 신경회로망의 구조는 그림 4와 같이 구성되며, 일반적으로 역전파(Back-propagation) 학습 알고리즘으로 이루어진다. 신경회로망 학습을 위한 역전파 알고리즘 기본 원리는 실제 출력값과 목표 출력값을 비교하여 차이를 줄여 가는 방향으로 연결가중치를 조정하고, 상위층에서 역전파하여 하위층에 이를 근거로 다시 자기층의 연결가중치를 조정해 나가게 된다. 역전파 학습 알고리즘의 학습 과정은 다음과 같은 단계로 이루어진다<sup>[10~11]</sup>.

1단계: 연결가중치( $w_{ji}, w_{kj}$ )를 아주 작은 임의의 값으로 초기화 하고, 입력을 설정한다.

2단계: 은닉층의 입출력값 구하기

$$net_{pj} = \sum_i w_{ji} o_{pi}$$

$$o_{pj} = f_j(net_{pj})$$

입력층의 출력값( $o_{pi}$ )과 연결가중치( $w_{ji}$ )를 이용하여 은닉층의 입력값( $net_{pj}$ )을 구하고 활성화 함수( $f$ )를 통해 은닉층의 출력값( $o_{pj}$ )을 구한다. 이 때, 활성화 함수로 시그모이드 함수를 사용한다.

3단계: 출력층의 입출력값 구하기

$$net_{pk} = \sum_j w_{kj} o_{pj}$$

$$o_{pk} = f_k(net_{pk})$$

은닉층의 출력값( $o_{pj}$ )과 연결가중치( $w_{kj}$ )를 이용하여 출력층의 입력값( $net_{pk}$ )을 구하고 활성화 함수( $f$ )를 통해 출력층의 출력값( $o_{pk}$ )을 구한다. 이 때, 활성화 함수로 시그모이드 함수를 사용한다.

4단계: 은닉층과 출력층의 연결가중치 변화

$$\delta_{pk} = (t_{pk} - o_{pk}) f'_k(\text{net}_{pk})$$

$$w_{kj} = w_{kj} + \alpha \delta_{pk} o_{pj}$$

목표 출력값( $t_{pk}$ )과 실제 출력값( $o_{pk}$ )의 차로부터 출력층의 연결가중치와 출력층의 오프셋에 대한 오차( $\delta_{pk}$ )를 구하고, 이를 이용하여 은닉층과 출력층의 연결가중치( $w_{kj}$ )를 수정한다. 이 때,  $\alpha$ 는 상수이다.

5단계: 입력층과 은닉층의 연결가중치 변화

$$\delta_{pj} = f'_k(\text{net}_{pj}) \sum_k \delta_{pk} w_{kj}$$

$$w_{ki} = w_{ki} + \beta \delta_{pj} o_{pi}$$

오차( $\delta_{pk}$ )와 연결가중치( $w_{kj}$ )와 은닉층의 출력값( $o_{pj}$ )을 이용하여 은닉층의 연결가중치와 은닉층의 오프셋에 대한 오차( $\delta_{pj}$ )를 구하고, 이를 이용하여 입력층과 은닉층의 연결가중치( $w_{ji}$ )를 수정한다. 이 때,  $\beta$ 는 상수이다.

6단계: 주어진 학습 횟수만큼 학습 한 뒤 종료한다.

### 3.3 신경회로망 기반 전류 보상기

매트릭스 컨버터는 입력단과 출력단이 직접 연결되어 왜곡된 전원이 입력되었을 경우 출력 또한 왜곡된다. 이러한 왜곡된 출력은 매트릭스 컨버터와 연결된 시스템에 큰 손상을 줄 수 있다. 본 논문에서는 왜곡된 입력에 대한 출력 전류를 정현파로 제어하고자 한다. 왜곡된 출력 전류를 보상하기 위해서는 출력 전류 공간벡터의 크기( $I_{do}$ )를 일정하게 유지함으로써 수행될 수 있는데, 여기서  $I_{do}$ 는 전류센서에 의해 측정된 출력 전류를 통해 구한다.

정현파 입력이 인가되면  $I_{do}$ 의 값은 일정하고, 왜곡된 입력이 인가되면 일정하지 않다. 그러므로 왜곡된 입력이 인가되었을 때에도  $I_{do}$ 의 값을 일정하게 제어한다면 출력 전류 또한 왜곡되지 않을 것이다.  $I_{do}$ 의 값을 일정하게 유지시키고 그 결과로 변화하는 전압이득을 실시간으로 계산함으로써 왜곡된 출력 전류를 효과적으로 보상할 수 있다. 학습에 의해 지속적으로 연결가중치를 변경하여 오차를 최소화 시키고 응답이 빠른 신경회로망을 이용하여 전류 보상기를 설정하였다.

신경회로망 기반의 전류 보상기의 입력은 식 (3)과 같이 매트릭스 컨버터의 출력 전류의 크기( $I(k)$ )와 원하는 출력 전류의 크기( $I^*(k)$ )의 오차( $e(k)$ )와 오차의 변화( $ce(k)$ )로 설정하였다. 출력은 전압 이득( $q(k)$ )으로 설정하였다.

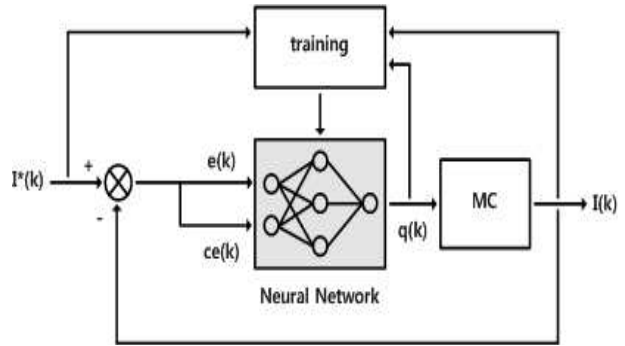


그림 5 신경회로망 기반의 전류 보상 시스템  
Fig. 5 Current compensation system based on neural network

$$\begin{aligned} e(k) &= I^*(k) - I(k) \\ ce(k) &= e(k) - e(k-1) \end{aligned} \quad (3)$$

신경회로망의 입력으로 받은 오차와 오차의 변화는 3.2장의 설명과 같이 역전파 알고리즘 학습방법으로 각각의 연결가중치들과의 중첩합을 통해 은닉층의 값들을 구하고 이 값들은 또 다른 연결가중치들의 중첩합으로 출력층으로 합쳐져 활성화 함수를 통해 결과를 내며, 이전의 연결가중치들을 적절히 변경시킨다. 이 결과 값은 매트릭스 컨버터의 전압 이득으로 사용되며 전압 이득은 매트릭스 컨버터의 변조 통류율을 계산하는데 사용되어 입력 전압의 외란 상황에서 왜곡된 출력 전류를 보상한다. 이러한 시스템을 그림 5에 나타내었다.

### 4. 시뮬레이션

시뮬레이션을 통해 신경망 전류보상기의 성능을 검증했다. 380V의 평형 3상을 입력 전압으로 인가하고 부하로는 R=10Ω, L=30mH의 3상 평형 부하를 사용하였다. 매트릭스 컨버터의 스위칭 주파수는 5kHz, 출력단 지령 전압 주파수는 60Hz로 설정하고 전압 이득은 0.6으로 설정하였다. 불평형 입력의 경우 한 상은 기존 크기의 1/2로 줄여 불평형 3상의 전압을 인가하였고 왜곡 입력의 경우 각 상에 20%의 3차 고조파와 10%의 5차 고조파를 추가하여 전압을 인가하였다.

먼저 평형 3상 정현파 입력에 따른 출력을 살펴보았다. 그림 6은 입력 전압(a), 출력 전압(b) 그리고 출력 전류(c)의 파형을 나타내며, 출력 전류는 왜곡 없이 깨끗한 정현파임을 알 수 있다.

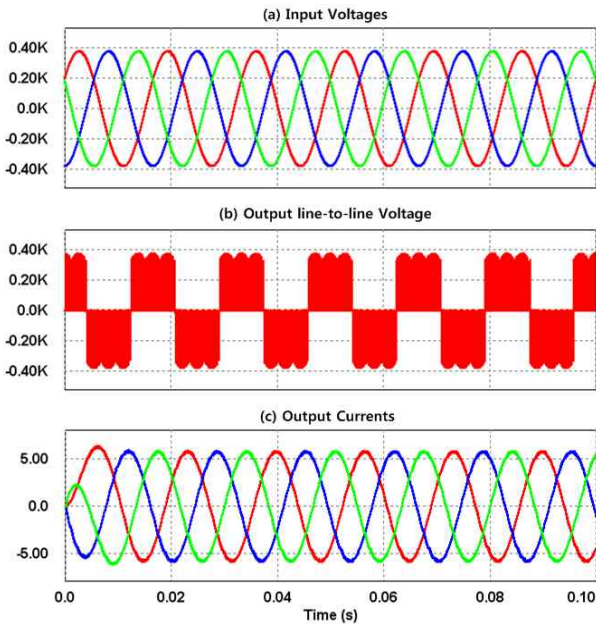


그림 6 정상 입력 전압에 따른 출력 파형  
Fig. 6 Output waveforms under normal input voltages condition

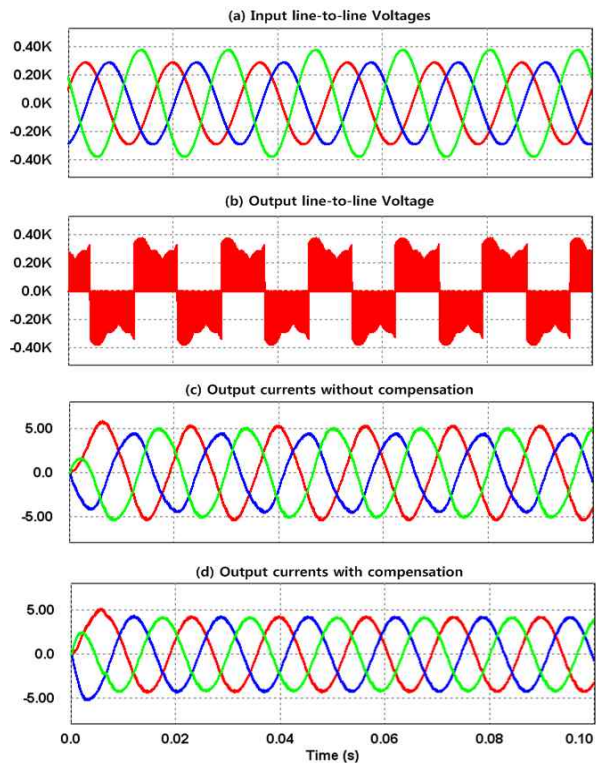


그림 7 불평형 입력 전압에 따른 출력 파형  
Fig. 7 Output waveforms under unbalanced input voltages condition

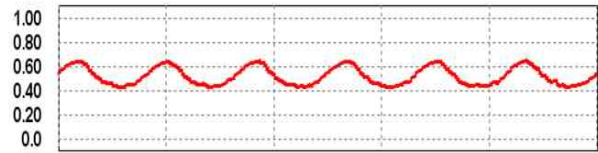


그림 8 불평형 입력 전압에서 보상 후 전압이득(10ms/div)  
Fig. 8 Voltage gain under unbalanced input voltages condition with compensation

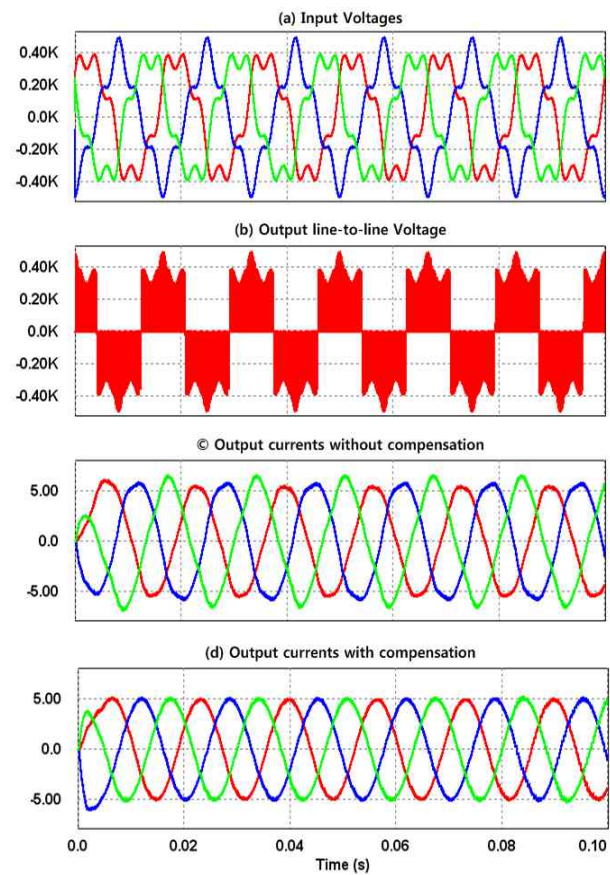


그림 9 왜곡된 입력 전압에 따른 출력 파형  
Fig. 9 Output waveforms under distorted input voltages condition

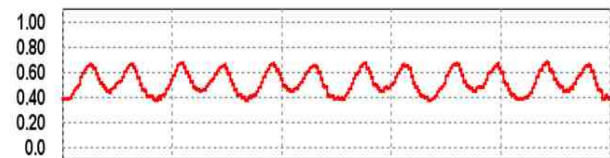


그림 10 왜곡된 입력 전압에서 보상 후 전압이득 (10ms/div)  
Fig. 10 Voltage gain under distorted input voltages condition



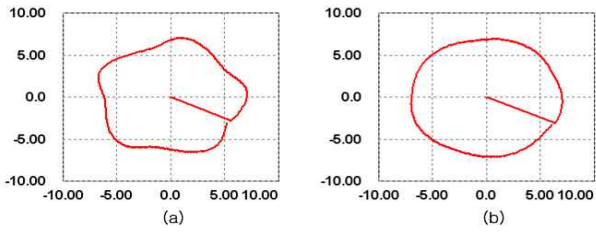


그림 11 출력 전류의 d-q축 (a) 보상 전, (b) 보상 후  
 Fig. 11 Locus of output current vectors  
 (a) without compensation under distorted input voltage conditions  
 (b) with compensation under distorted input voltage conditions

매트릭스 컨버터의 전원을 그림 7의 (a)와 같이 불평형으로 입력하면 출력 전류 파형은 그림 7의 (c)와 같이 일그러진 파형의 형태를 나타낸다. 이러한 매트릭스 컨버터에 신경회로망 기반 전류 보상기를 통하여 보상하면 출력 전류파형은 정현파로 깨끗하게 보상되며, 개선된 파형은 그림 7의 (d)와 같다. 신경회로망의 은닉층은 3개, 상수  $\alpha$ 는 0.3,  $\beta$ 는 0.01로 설정하였다. 이 때 전압 이득은 그림 8과 같다. 보상 전 매트릭스 컨버터의 전압이득은 일정하지만 보상 후에는 전압이득이 적절히 변화하여 전류를 보상한다.

고조파를 주입한 왜곡된 전압 파형이 인가되었을 경우 매트릭스 컨버터의 출력 전류 역시 그림 9의 (c)와 같이 입력의 영향을 받아 왜곡된다. 신경회로망 기반 전류 보상기를 이용하여 출력 파형을 보상하면 그림 9의 (d)와 같이 왜곡이 없는 정현파가 출력된다. 보상 전 매트릭스 컨버터의 전압이득은 일정한 값을 가지지만 보상 후에는 전압이득이 적절히 변화하여 전류를 보상함을 그림 10를 통해 알 수 있다.

그림 11은 불평형 입력 전압 상황에서 보상 전과 후 출력전류의 d-q축 변환 파형을 보여준다. 보상 전 일정하지 않은 파형이 보상 후, 깨끗하게 보상됨을 확인할 수 있다.

### 5. 실험 결과

그림 12는 매트릭스 컨버터 실험 장치이다. 입력 전원의 외란 상황에서 제한한 신경회로망 기반의 전류보상기를 이용한 매트릭스 컨버터의 출력 전류의 개선기법의 타당성과 유효성을 검증하기 위해 본 실험을 수행하였다. 매트릭스 컨버터의 입력 전압의 크기를 380V, 출력 주파수 지령을 60Hz로 설정하였으며 출력 단 부하의 저항은  $10\Omega$ , 인덕턴스는 30mH, 스위칭 주

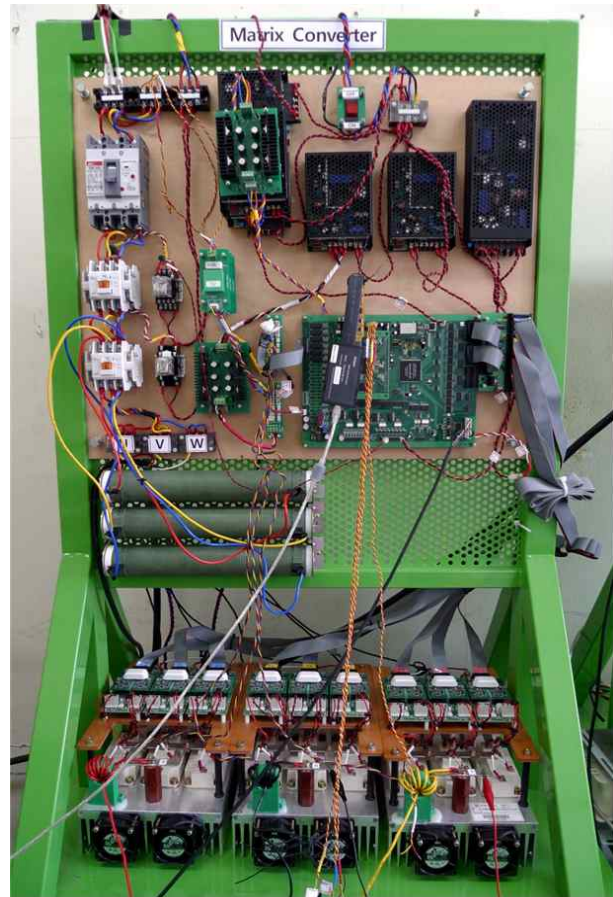


그림 12 매트릭스 컨버터 실험 세트  
 Fig. 12 Experimental Setup of matrix converter

파수는 5kHz로 설정하였다. 출력 전류 개선을 위한 신경회로망 보상기의 은닉층은 3개, 상수  $\alpha$ 는 0.3,  $\beta$ 는 0.01로 설정하였다.

정상 입력일 때의 파형을 살펴보면 그림 13과 같다. 입력 3상 평형 전압과 출력 전압, 그리고 출력 3상 전류를 나타낸다. 정상 입력일 때의 출력 전류 파형은 평형의 정현파임을 확인할 수 있다. 입력 전압에서 한 상의 크기를 다른 상들의 1/2이 되도록 조절하여 불평형의 입력전압을 인가하였다. 그림 14의 (a)는 입력 불평형 순간 전압들을 나타내고, 그림 14의 (b) 출력 순간 전압을 나타낸다. 그림 14의 (c)는 입력에 따른 출력 전류를 나타내며 파형이 불평형을 이루고 왜곡됨을 보이는데 신경회로망 기반 전류 보상기를 이용하여 출력 전류를 보상하면 그림 14의 (d)와 같이 3상의 정현파가 된다. 입력 전압이 불평형일 때의 신경회로망 기반 보상기를 이용하여 보정한 후의 전압 이득을 살펴보면 그림 15와 같다. 보상 전에는 일정한 값이던

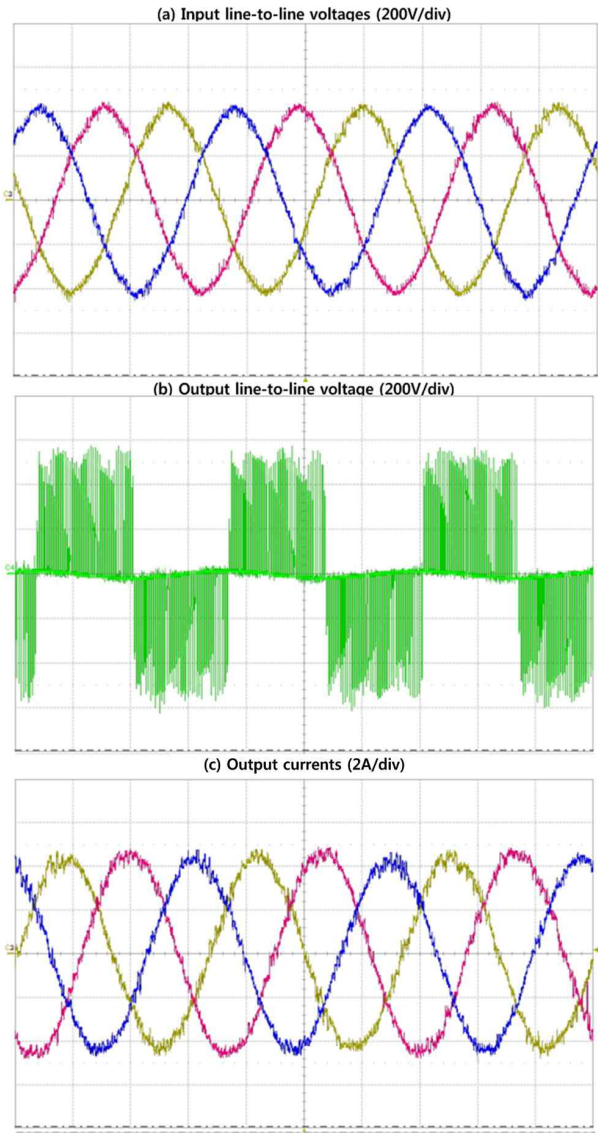


그림 13 정상 입력 전압에서의 출력 파형(5ms/div)  
 Fig. 13 Output waveforms under normal input voltages condition

전압이득이 보상 후에는 크기가 변동하며 출력 전류를 보상한다. 이는 시뮬레이션 결과와 같으며 이를 통해 신경회로망 기반 전류 보상기를 이용해 출력 전류의 왜곡이 효과적으로 보상됨을 증명하였다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 매트릭스 컨버터의 입력 전원의 외란의 영향을 줄이기 위해 신경회로망 기반 전류 보상기를 이용한 출력 전류 개선 기법을 제안했다. 시뮬레이

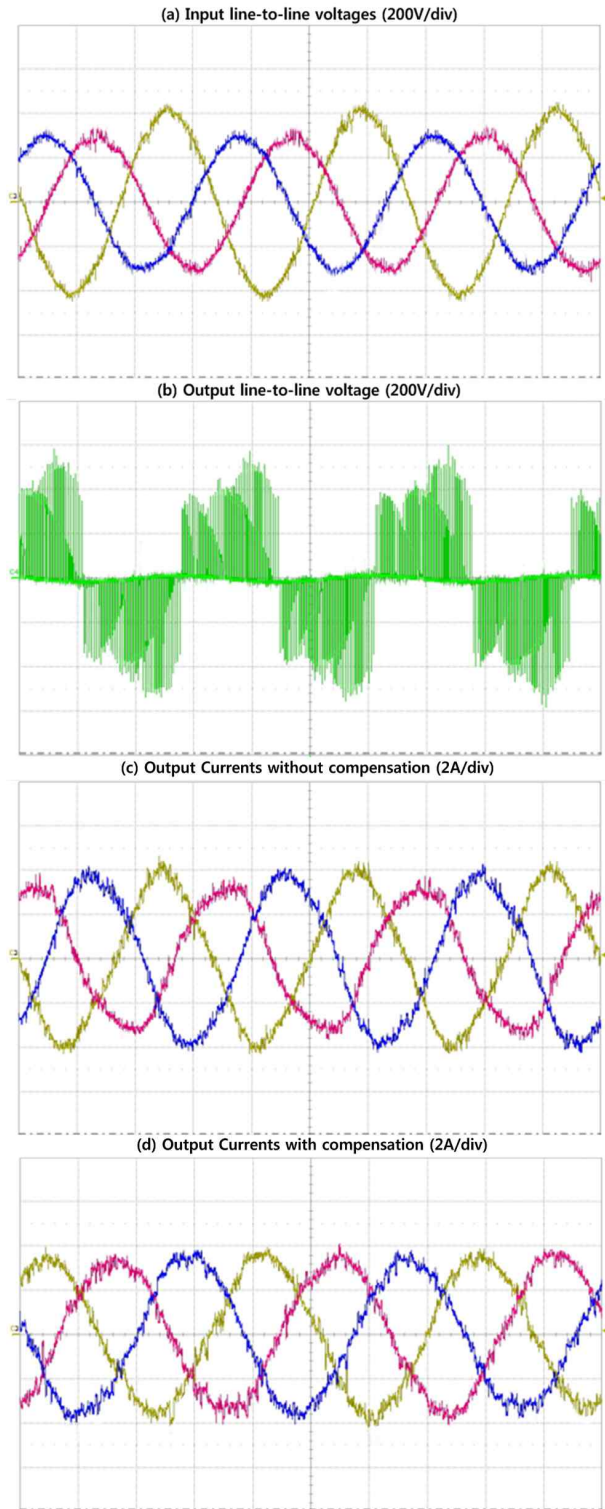


그림 14 불평형 입력 전압에서의 출력 파형(5ms/div)  
 Fig. 14 Output waveforms under unbalanced input voltages condition

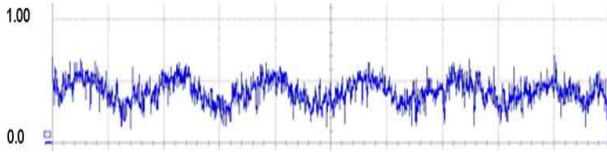


그림 15 보상 후 전압 이득(5ms/div)  
Fig. 15 Voltage gain with compensation

선과 실험 결과를 통하여 신경회로망의 학습 능력을 이용한 전류 보상기가 매트릭스 컨버터의 시스템에 잘 적용되고 입력 전원의 외란에 대한 왜곡된 출력 전류를 효과적으로 보상하는 것을 검증하였다.

이 논문은 2009년도 아주대학교 교내연구비 지원(20094720)에 의하여 이루어졌음.

### 참 고 문 헌

- [1] P. W. Wheeler, J. Rodriguez, J.C. Clare, L. Empringham and A. Weinstein, "Matrix Converters: A Technology Review", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol. 49, No. 2, pp. 276-288, 2002, April.
- [2] K. Park and K. B. Lee, "A Novel Sparse Matrix Converter with a Z-Source Network", *IEEE IECON09*, pp. 4523-4528, 2009.
- [3] 이교범, "비선형 모델을 이용한 Matrix Converter로 구동되는 축소차원 확장 루엔버거 관측기 기반의 센서리스 벡터제어의 성능개선", *전력전자학회 논문지*, Vol. 10, No. 4, pp. 363-372, 2005. 8.
- [4] P. Nielsen, F. Blaabjerg and K. Pedersen, "Space Vector Modulated Matrix Converter with Minimized Number of Switchings and a Feedforward Compensation of Input Voltage Unbalance", *IEEE PEDS'96*, Vol. 2, pp. 833-839, 1996.
- [5] S. Sunter, H. Altun and J. Clare, "A Control Technique for Compensating the Effects for Input Voltage Variations on Matrix Converter modulation Algorithms," *Electric Power Components and Systems-Taylor & Francis*, Vol. 30, No. 8, pp. 807-822, 2002.
- [6] K. Sun, D. Zhou and L. Huang, "Compensation Control of Matrix Converter Fed Induction Motor Drive under Abnormal input Voltage Conditions," *IEEE IAS2004*, Vol. 1, pp. 623-630, 2004, Oct.
- [7] M. Rivera, R. Vargas, J. Espinoza, J. Fodriguez, P. Wheeler and C. Silva, "Current Control in Matrix

Converters connected to Polluted AC Voltage Supplies", *IEEE PESCO8*, pp. 412-417, 2008.

- [8] H. Karaca, R. Akkaya and H. Dogan, "A Novel Compensation Method Based on Fuzzy Logic Control for Matrix Converter under Distorted Input Voltage Conditions", *ICEM*, pp. 1-5, 2008.
- [9] K. Park, D. Chwa and K. B. Lee, "Robust Disturbance Compensation for Servo Drives Fed by a Matrix Converter", *Journal of Power Electronics*, Vol. 9, No. 5, pp. 791-799, 2009. Sept.
- [10] 이교범, 송중호, 최익, 김광배, 이광원, "신경망 추정기를 이용한 2관성 공진계의 속도 제어", *전기학회논문지*, 제48A권, 제3호, pp. 286-293, 1999. 3.
- [11] 김류호, 리병순, 성세진, "초고속 유도전동기 구동을 위한 신경회로망 제어기 설계", *전력전자학회 논문지*, 제2권, 제1호, pp. 39-45, 1997. 3.

### 저 자 소 개



#### 이은실(李恩實)

1988년 1월 6일생. 2010년 아주대 전자공학부 졸업. 현재 아주대 전자공학과 석사과정.



#### 박기우(朴基佑)

1981년 10월 28일생. 2009년 아주대 전자공학부 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(공학). 2003년~2006년 The Institute of Energy Technology, Aalborg University in Denmark. 2006년~2007년 전북대 전자정보공학부 조교수. 2007년~현재 아주대 전자공학부 부교수. 당 학회 JPE 편집위원.