

# 75[kW]급 캐패시터리스 인버터 개발

김선자\*, 김정하\*, 김경서\*, 유안노\*\*, 설승기\*\*  
LS산전\*, 서울대학교\*\*

## Development of 75kW Rated Capacitorless Inverter

Sun-ja Kim\*, Jeong-ha Kim\*, Kyung-seo Kim\*, Anno Yoo\*\*, Seung-ki Sul\*\*  
LS Industrial Systems\*, Seoul National University\*\*

### ABSTRACT

직류단 전원(DC link)에 대용량의 전해 캐패시터(Electrolytic capacitor)를 사용하지 않는 전해 캐패시터리스(Electrolytic-Capacitorless) 인버터는 기존의 인버터에 비해서 가격, 부피 면에서 장점을 갖는다. 하지만 인버터의 용량이 커질수록 입력 저역 통과 필터(Low Pass Filter : LPF)와 주기적인 맥동을 가지는 직류단 전원의 영향을 받는다. 본 논문에서는 75[kW]급 캐패시터리스 인버터를 개발하여 이러한 영향을 억제할 수 있는 방법을 제시하고, 실험 결과를 통하여 개발한 인버터의 타당성을 검증한다.

### 1. 서론

기존의 전동기 구동용 범용 인버터는 3상 다이오드 정류 회로를 이용하여 AC 전원에서부터 DC 전원을 얻은 뒤, 인버터를 이용하여 전동기를 구동하는 방식을 사용하였다. 이 방식은 다이오드 정류 회로의 특성상 에너지 회생이 불가능하여 제동 저항이 필수적으로 사용된다. 또한 인버터에서 회생되는 순시 에너지의 흡수를 위하여 리액티브(Reactive) 에너지 저장 소자로 직류단에 대용량의 전해 캐패시터가 사용되었다. 이러한 전해 캐패시터는 그 자체의 수명 문제뿐만 아니라, 입력 전원단 전류의 고조파를 증대 시키는 문제점을 초래하며, 초기 충전 전류를 억제하기 위한 초기충전 회로를 필수적으로 수반 하게 된다. 기존의 전자접촉기(Electromagnetic Contactor)나 Thyristor 등과 저항을 이용하는 초기 충전 회로는 제품의 원가를 상승시키고 부피 및 무게를 증가시키며, 신뢰성을 떨어뜨린다. 또한, 입력 전원단 전류의 고조파를 억제하기 위하여 기존의 인버터의 경우 DC 혹은 AC reactor를 사용하였으나, 이 역시 원가를 상승시키고, 제품의 부피 및 무게를 증가시키는 등의 단점을 안고 있다.

본 논문에서는 그림 1과 같은 새로운 회로 방식의 교류-직류-교류 변환 방식을 적용하여, 전체 시스템에서 리액티브 에너지 저장 소자의 크기를 대폭 줄임으로써 초기 충전회로가 불필요하고 동시에 크레인(Crane)과 같은 승강(Lifting) 부하에 적용할 수 있는 에너지 회생이 가능한 75[kW]급 캐패시터리스 인버터를 개발하고 시뮬레이션과 실험을 통해 검증하고자 한다.

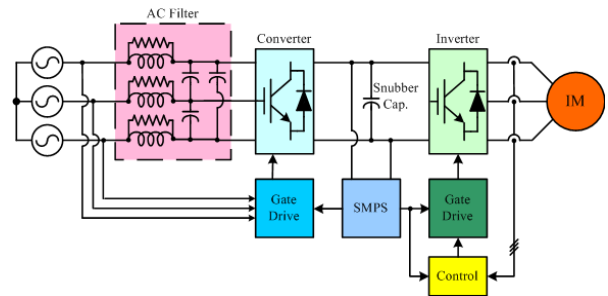


그림 1 캐패시터리스 인버터의 구성  
Fig. 1 Configuration of capacitorless inverter

### 2. 본론

#### 2.1 입력 필터

캐패시터리스 인버터의 입력단 회로에는 그림 1과 같이 부하단 스위칭으로 인한 전류 고조파를 차단하기 위한 LC필터가 있는데, 이 때 필터의 차단 주파수는 다음과 같다.

$$\omega_c = \frac{1}{\sqrt{3L_f C_f}} \quad (1)$$

이때,  $L_f$ 와  $C_f$ 는 각 상에 사용된 필터의 인덕턴스와 캐패시턴스이다. 전류 고조파는 부하단 인버터의 스위칭으로부터 나오므로, 필터의 차단 주파수는 인버터의 스위칭 주파수보다 낮게 설정해야 한다. LC필터의 차단 주파수 부근에서 공진 현상이 나타나게 되면, 정상적인 운전 상태에서도 직류단 전압이 크게 흔들리게 되므로 공진 현상을 억제하기 위하여 댐핑 저항을 이용하였다. 댐핑 저항은 필터의 인덕터와 병렬로 연결하여 병렬 임피던스의 실수값을 가장 큰 저항값으로 선정하면 공진 주파수 부근에서 댐핑이 가장 크게 된다. 이때는 시스템의 효율과 관련되기 때문에 저항에서의 손실을 고려하여 선정해야 한다.

#### 2.2 Active damping을 이용한 전류 제어

캐패시터리스 인버터의 정류단 컨버터는 기존의 3상 다이오드 정류기와 같이 전원 전압에 따라 on-off 스위칭을 하게 된다. 따라서 정류단 컨버터의 스위칭 주파수는 전원 주파수와 동일하게 된다. 이와 같은 동작을 통하여 직류 전원단에는 입

력 전원의 선간 전압 중 가장 큰 값이 전달하게 되고, 이때 직류 전원단은 수 [uF]의 필름 커패시터만이 사용되고 있기 때문에 입력 전원의 6배 주파수의 주기적인 맥동(ripple)을 가지게 된다. 이러한 특성은 부하에 따른 과변조나 전류제어 특성에 영향을 준다. 특히 전류 제어기의 제어 대역폭을 크게 할 경우 맥동이 발생할 가능성이 높기 때문에 이를 방지하기 위하여 그림 2와 같이 Active damping을 이용하여 직류단 전압의 영향을 방지한다.

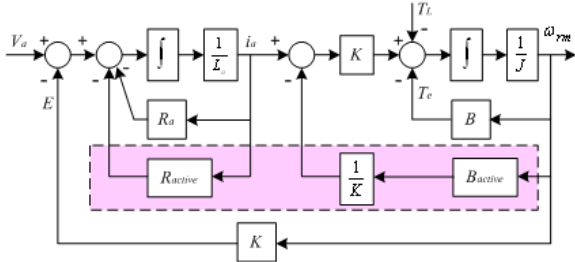


그림 2 Active damping 개념도  
Fig. 2 Block diagram of active damping

### 2.3 시스템 구성

그림 3은 본 논문에서 논의한 Prototype의 75[kW]급 캐패시터리스 인버터이다. 자사에서 판매하는 동일한 용량의 다른 인버터와 비교하면 거의 유사한 크기를 가진다. 하지만 크레인과 같은 승강 부하에서는 회생 운전을 위하여 제동 Unit이나 인버터보다 훨씬 규모가 큰 제동 저항이 필수적으로 필요하게 된다. 결국 전체 시스템의 크기는 인버터의 2~5배가 되지만 캐패시터리스 인버터의 경우 회생 운전이 가능하기 때문에 부가적인 장치 없이 전체 시스템은 캐패시터리스 인버터 하나로 가능하다. 따라서 캐패시터리스 인버터는 전체 시스템의 크기뿐만 아니라 가격, 설치 측면에서 상당한 장점을 가진다.



그림 3 75[kW]급 캐패시터리스 인버터  
Fig. 3 Figure of 75[kW] capacitorless inverter

## 3. 시뮬레이션 및 실험

### 3.1 시뮬레이션

그림 4는 PSIM을 이용하여 75[kW]급 캐패시터리스 인버터 운전 중 정상 상태에서의 파형을 나타낸다. 직류단 전압의 경

우 크기는 70[V]이하로 360[Hz]의 주기적인 맥동을 가지고 있고, d, q축 전류 각각 지령값을 따라 제어가 정상적으로 동작하고 이 때의 전동기 3상 전류 또한 정상적으로 동작하는 것을 알 수 있다. 이 때 입력 전류의 THD 또한 약 15[%]로 기존 인버터의 THD보다 훨씬 우수한 특성을 나타낸다.

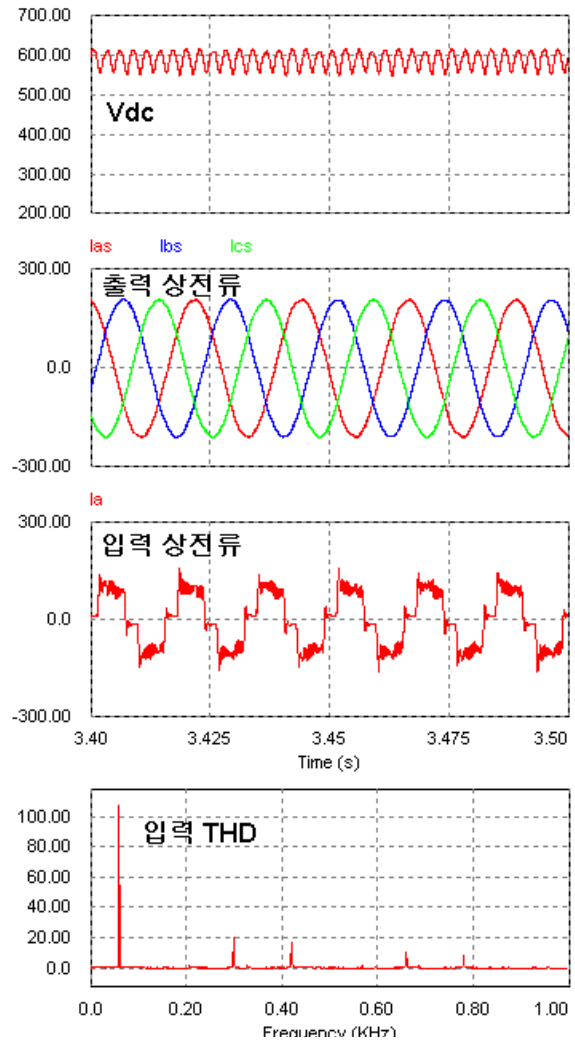


그림 4 시뮬레이션 파형  
Fig. 4 Waveform of simulation

### 3.2 실험 및 고찰

실험을 위하여 개발한 캐패시터리스 인버터와 표 1과 같은 7.5[kW] 유도 전동기를 사용하였다. 캐패시터리스 인버터는 앞 절에서 논의한대로 입력단에 LC필터를 적용하고 active damping을 이용하여 전류제어를 수행하였다. 실험은 전동 운전과 회생 운전 모두 동일하게 40[Hz]운전 시 100[%] 부하 토크를 적용하였다.

그림 5는 정상 상태에서 각각의 직류단 전압, d축 전류, q축 전류, 상전류 파형이다. 360[Hz]의 맥동을 가지는 직류단 전압에도 불구하고 전동 운전 시나 회생 운전 시 모두 전류 파형은 안정적으로 동작하는 것을 알 수 있다.

그림 6은 전동 운전 시 입력 상전류와 이때의 THD 파형이다. 제 5, 7, 11 고조파가 나타나지만 기존 범용 인버터의 THD에 비하여 상당히 낮은 약 25[%]로써 국제 규격(IEC/EN

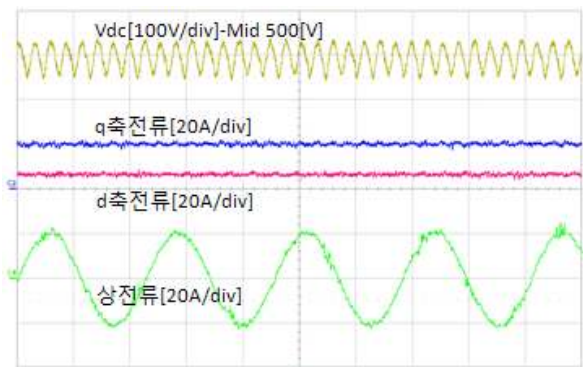
61000-3-12)에서 허용하는 최대 THD 48[%] 이하를 만족한다.

#### 4. 결론

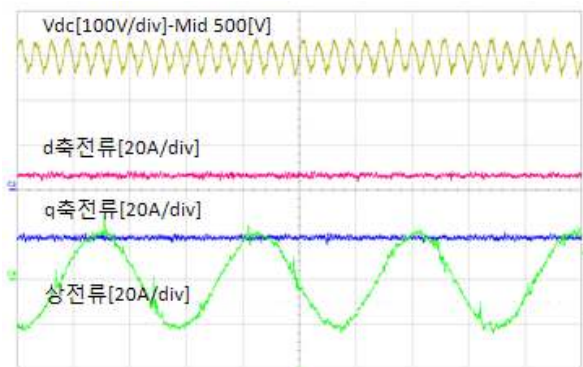
본 논문에서는 수천~수만 [uF]의 크기를 갖는 전해 캐패시터 대신 수 [uF]의 필름 캐패시터를 이용하여 회생 가능한 75[kW]급 캐패시터리스 인버터 개발에 대하여 논의하였다. 부하단 스위칭으로 인한 노이즈 영향을 차단하기 위하여 입력단에 LC필터를 적용하였고 별도의 리액터(Reactor) 없이 국제 규격을 만족시키는 낮은 THD를 가진다. Active damping을 이용한 전류 제어를 통해 직류단 전원 전압 맥동의 영향을 최소화하여 전부하 시에도 정상적으로 전동기가 운전하는 것을 확인하였다. 또한 정류단에 능동형 스위치를 사용하여 회생 운전이 가능하도록 하여 크레인과 같은 승강 부하에도 제동 저항이나 제동 Unit이 없어도 적용 가능토록 하였다. 향후 캐패시터리스 인버터는 기존 인버터 시스템의 성능을 유지하면서 크기와 비용을 줄이는 효과를 가져다 줄 것이다.

표 1 유도 전동기 제정수  
Table 1 Parameter of induction motor

정격용량	7.5 [kW]	Rs	0.568 [ $\Omega$ ]
정격속도	1760 [rpm]	Ls	92.75 [mH]
정격전압	380 [V]	Lr	92.75 [mH]
정격전류	15.1 [A]	Lm	88.6 [mH]
극수	4	Tr	248 [ms]



(a) 전동 운전



(b) 회생 운전

그림 5 실험 파형

Fig. 5 Experimental waveform[10ms/div]



그림 6 THD 실험 파형

Fig. 6 THD Experimental waveform[100Hz/div]

(Upper : 입력전류[20A/div], Lower : THD[2A/div])

#### 참고 문헌

- [1] B. G. Gu, K. Nam, "Theoretical minimum DC-link capacitance in PWM converter-inverter systems", IEE Proc. Electr. Power, Vol. 152, No. 1, pp. 81-88, 2005, January.
- [2] W. J. Lee, S. K. Sul, Y. S. Shim, "A Protection of the Electrolytic Capacitor-less Drive System against the Input Grid Interruption", Industry Applications Conference of IEEE, Vol. 5, pp. 2454-2458, 2006, Oct.
- [3] J. S. Kim, S. K. Sul, "New Control Scheme for AC-DC-AC Converter Without DC Link Electrolytic Capacitor", in Proc. IEEE-PESC, pp. 300-306, 1993.