

전원회생 절연형 컨버터의 실증을 위한 기본연구

안준선*

A Study On The Implementation Of Isolated Type Power Regenerative Converter

Joonseon Ahn*

요 약 AC 구동 시스템에서의 회생에너지의 활용은 1990년대 본 방식이 산업계의 표준 방식이 된 이후 오랜 기간 동안 이슈화 되어 왔다. 회생에너지의 크기에 따라 저용량의 경우에는 제동저항으로 소모시키는 방식이 일반적이었으나, 이러한 에너지의 활용이 적극적으로 논의되면서 회생용 컨버터를 장착하는 방식이 보급되고 있다. 본 논문에서는 종래의 전원회생 컨버터방식의 최대 단점으로 언급되고 있는 순환전류의 저감을 위해 절연형 회생 컨버터 방식을 제안하였다. 에너지 절감차원에서 일정 용량 이상의 AC 드라이브 시스템에는 회생에너지를 활용하기 위한 전원회생 컨버터 시스템을 채용하는 것이 일반적이거나, 시스템의 구조 상 순환전류가 발생하게 되어, 이로 인한 효율의 저하 역시 필연적으로 발생된다. 본 논문에서는 이러한 순환전류를 해결하기 위한 절연형 전원회생 컨버터 방식을 제안하였고, 가능성을 검증하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 기존의 시스템에서 나타난 정격대비 20%의 순환전류가 제안된 시스템에서는 나타나지 않음을 확인하였고 제안된 시스템의 타당성을 확인할 수 있었다.

Abstract The use of regenerative energy in AC drive systems has been an issue since the system became an industry standard in the 1990s. According to the quantity of the regenerative energy, the braking resistor in the case of low capacity was common. However the use of such low amount of energy is actively discussed, and the method of mounting the regenerative converter is becoming popular. In this paper, an isolated regenerative converter for reducing the circulating current which is mentioned as the biggest disadvantage of the conventional power regenerative converter system is proposed. In order to save energy, employing a power regenerative converter system for utilizing regenerative energy in an AC drive system is common. However due to the structure of the system, a circulating current is generated, which inevitably causes a decrease in efficiency. In this paper, an isolated regenerative power converter system is proposed to solve the circulating current and computer simulation to verify the possibility. The simulation results show that 20% of the circulating current of the conventional system does not appear in the proposed system, and the validity of the proposed system is confirmed.

Key Words : AC drive, active front end system, elevator, isolated type PWM converter, regenerative converter

1. 서론

인버터의 보급과 더불어 종래의 상절환 방식이나, 극수 변환방식의 전동기 제어 시스템은 자취를 감추게

되었고, 정밀한 속도제어, 높은 에너지 효율 등의 강점을 가진 인버터 방식의 전동기제어 시스템은 해당 분야에서 가장 널리 쓰이는 방식으로 자리잡게 되었다. 하지만, 이러한 강점에도 불구하고 최근 십여년간

This paper was supported by research fund of osan university in 2017.

*Department of Electrical Engineering, Osan university (jsahn@osan.ac.kr)

Received October 03, 2019

Revised October 14, 2019

Accepted October 22, 2019

이어진 고유가 등 에너지 가격의 상승에 따라 좀 더 에너지 절감형의 전동기 제어시스템의 사회적 요구가 이어지고 있으며, 이에 따라 한국전력 등 에너지 공기업에서는 고효율기기사업, ESCO 사업 등의 국가적인 에너지 절감사업을 전개하고 있으며 이에 따른 민간부분의 에너지 절감형 기기의 개발 및 판매의 확대가 이루어지고 있다. 특히 수년전부터 기존의 인버터를 채용한 승강 시스템의 효율개선을 위한 회생제동장치 보급사업(전원회생 컨버터 보급사업)을 전개해오고 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 회생제동장치에서 발생하고 있는 순환전류의 저감을 위한 절연형 회생컨버터 방식을 제안하였고, 그 실효성을 검증하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션을 진행하였다.[1~6]

2. 회생제동 컨버터

회생 모드의 전동기 운전이 빈번하게 발생하는 전동기 제어 시스템(주로 승강 시스템)에서는 회생 에너지의 활용이 시스템의 유지 측면에서 매우 중요한 이슈가 되어 왔으며, 시스템의 규모 즉 전동기의 용량에 따라 PWM 컨버터를 인버터와 전원 사이에 직결하여 회생에너지를 전원 측으로 되돌려 보내는 방식으로 회생 에너지를 활용하여왔다. 표 1에 용량 별 회생에너지의 활용 방식에 대하여 나타내었다. 표1에서 보는 바와 같이 저인승 혹은 저속의 승용 엘리베이터의 경우 시스템의 가격이 주요 이슈이기 때문에 PWM 컨버터 방식을 적용하는 데에는 어려움이 있어 제동저항 방식을 채택하여 시스템을 구성하는 것이 일반적이다.

표 1. 엘리베이터 용량별 회생에너지 제어방식
Table 1. Regenerative method of E/L capacity

용량/인승	적용방식
~30kW/24인승 저속기종(~2.5%)	제동저항방식
30kW~/24인승~ 고속기종(4%~)	PWM 컨버터방식

국내에 설치되어 있는 승강기의 대부분이 저층용 엘리베이터임을 감안하면(표 2 참조) 국내에 설치되어 있는 승강기의 대부분이 제동저항방식의 엘리베이터임을

알 수 있다.[4]

표 2. 엘리베이터 층수 별 국내설치현황
Table 2. Installation of E/L by rising grade

구분	계	~5층	~10층	~15층	~25층	~30층	30층~
`10	21,478	7,920	3,713	4,583	3,938	713	611
`11	22,989	9,511	4,604	3,729	3,804	666	675
`12	25,286	11,660	5,307	3,521	3,624	541	633
`13	26,820	11,530	5,280	3,909	4,803	797	501
`14	31,813	13,544	5,972	4,176	5,883	1,499	739
`15	35,612	16,190	7,188	4,191	5,903	1,210	930
`16	41,537	19,782	8,737	4,282	6,344	1,632	760
`17	44,505	20,732	8,048	3,976	7,708	2,517	1,524
계	250,040	110,869	48,849	32,367	42,007	9,575	6,373
비율	100%	44.3%	19.5%	12.9%	16.8%	3.8%	2.6%

그림 1에 전원회생 컨버터 방식을 채용한 승강 시스템에서 일반적으로 나타나는 에너지의 흐름을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 전동기가 회생 모드로 동작할 경우 회생에너지는 회생용 PWM 컨버터에 의해 그 에너지를 전원 측으로 되돌리게 되며, 이로 인해 에너지의 절감이 발생되게 된다.

따라서 전원회생 컨버터를 채용한 시스템에서는 회생에너지를 저항으로 태워버리는 제동저항 방식에 비해서 그림 1에 나타난 바와 같이 음영부분에 해당하는 정도의 에너지 절감을 기대할 수 있다.

이러한 이점에 의해 회생제동 컨버터를 기존의 저항제동 방식의 인버터에 부착하여 회생에너지가 전원측으로 회생되어 에너지를 절감하고자 하는 사업이 한국전력을 중심으로 진행되고 있다.

한편, 회생제동 컨버터의 경우 인버터와 병렬로 전원에 연결되기 때문에 필연적으로 내부 순환전류가 발생되게 되며, 이를 제거하는 것이 시스템의 효율을 향상시키는 데에 매우 중요한 요소가 된다.[7]

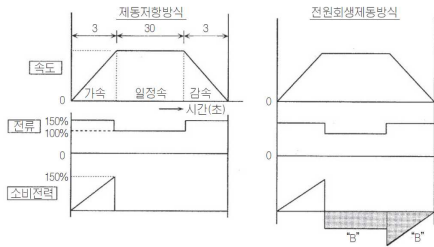


그림 1. 승강기 하강운전 패턴과 전류/소비전력의 관계
 Fig. 1. Relationship between consumption energy and operation pattern

3. 절연형 회생제동 컨버터

3.1 회생제동시스템의 순환전류

국내에 설치된 대다수의 엘리베이터에는 앞서 언급한 바와 같이 저항제동 방식을 취하고 있어, 회생 모드로 운전하는 경우 그 에너지를 모두 저항으로 소모시켜버린다. 이렇게 소모되는 에너지를 다시 전원측으로 되돌려 재활용하기 위해 그림 2에 나타난 회생제동 컨버터를 부착하여 시스템의 효율을 높이고자 노력하고 있다.

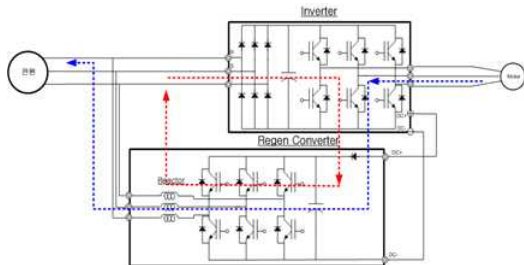


그림 2. 기존의 회생제동 시스템에서의 순환전류
 Fig. 2. Circulating current on conventional regenerative system

하지만 이러한 경우 그림 2에 나타난 것처럼 DC link 단이 인버터와 공유된 상태에서 PWM 컨버터가 동작하기 때문에, 필터 리액터의 동작에 의해 회생 컨버터의 출력 전압이 전원전압보다 약간 높게 유지되게 되며, 이로 인해 인버터 입력단의 정류 다이오드 컨버터가 동작하게 되어 그림에 도시한 적색의 전류 흐름이 나타나게 된다. 이 순환전류는 리액터의 동작에 의

한 무효전류의 흐름으로 구조적으로 발생하는 부분이라 할 수 있다. 이러 무효전류의 흐름을 파악하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다.

분석 대상으로는 국내에서 가장 널리 보급되어 있는 승용 엘리베이터에 적용되는 인버터 시스템으로 잡았으며 그 자세한 사양은 표 3과 같다.

표 3. 연구 대상 시스템의 사양
 Table 3. Specification of regenerative system

항목	내용	
입출력정격	정격용량[kW]	7.5
	AC 정격전압[V]	380~460
	과부하율[%]	90s@100% 10s@150%
	사용율[%Ed]	25

표 3에 의한 컴퓨터 시뮬레이션 모델은 그림 3과 같고, 그 결과는 그림 4에 나타내었다. 그림 3 에서 보는 바와 같이 컴퓨터 시뮬레이션 모델은 일반적인 회생제동 컨버터(모델의 하단)과 전동기 구동 인버터(모델의 상단)가 DC link 단을 공유하는 형태로 구성되어 있다.

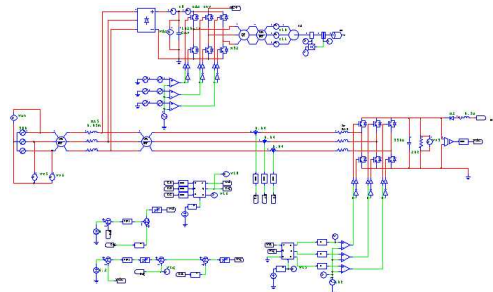


그림 3. 기존의 회생제동 시스템의 컴퓨터 시뮬레이션 모델
 Fig. 3. Computer simulation model of conventional regenerative system

전동기에 역부하를 걸어 회생모드로 동작 시켰을 때의 전압 및 전류 파형이 그림 4에 도시되어 있다. 파형은 순서대로 제일 위가 DC link단 전압, 컨버터 출력전압, 컨버터 출력전류 및 순환전류의 순으로 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 순환전류의 존재가 확인되고 있으며, 정격 전류 대비 최대 피크 50%. 실효치 20% (3.9[A]) 수준으로 확인되고 있다.

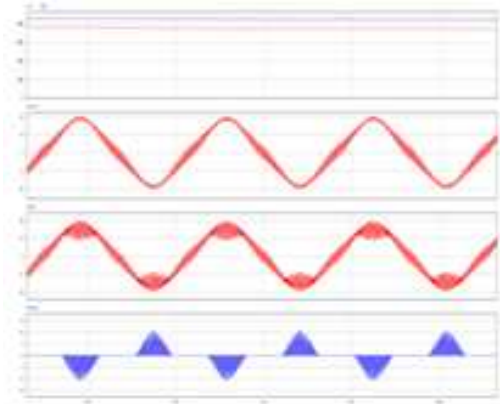


그림 4. 기존의 회생제동 시스템의 동작 파형(ch1: DC link 단 전압[V], ch2: converter output voltage[V], ch3: converter output current[A], circulating current[A])
Fig. 4. Waveforms of conventional regenerative system model

3.2 절연형 회생 컨버터 시스템

그림 4에 도시된 순환전류는 회생전력의 품질저하 및 전류의 왜곡으로 나타나며 전체 시스템의 회생 효율을 저하시키는 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 고주파 DC-DC 컨버터 및 변압기가 결합된 회생제동 컨버터를 제안하고자 한다. 본 시스템의 구성은 그림 5에 나타내었다.

그림 5에 나타낸 바와 같이 고주파 변압기에 의해 순환 전류는 원천적으로 차단되며 회생되는 에너지는 변압기에 의해 2차 측으로 넘어가 PWM 컨버터의 동작에 따라 전원 측으로 회생된다.

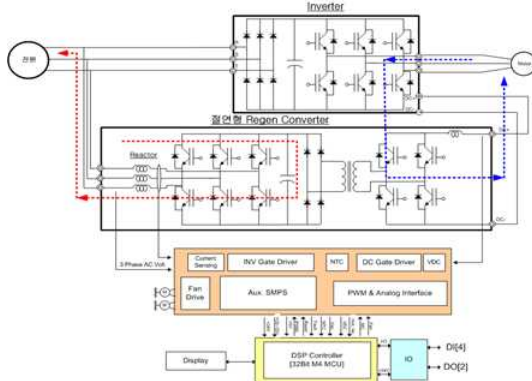


그림 5. 제안된 절연형 회생제동 시스템
Fig. 5. Proposed regenerative system model

그림 6에는 본 시스템의 타당성을 확인하기 위해 구성한 컴퓨터 시뮬레이션 모델을 나타내었으며, 그림 7에는 그 동작 파형을 나타내었다.

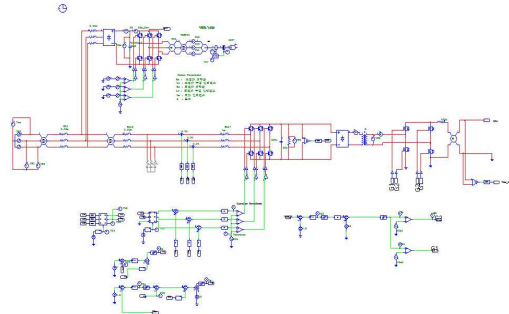


그림 6. 제안된 회생제동 시스템의 컴퓨터 시뮬레이션 모델
Fig. 6. Computer simulation model of proposed regenerative system

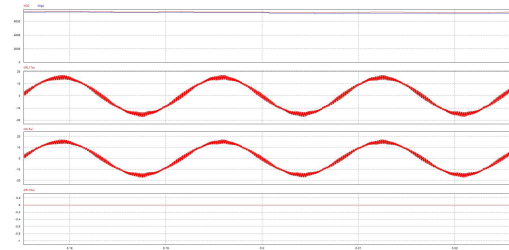


그림 7. 제안된 회생제동 시스템의 동작 파형(ch1: DC link 단 전압[V], ch2: converter output voltage[V], ch3: converter output current[A], circulating current[A])
Fig. 7. Waveforms of proposed regenerative system model

그림 7에서 보는 바와 같이 그림 4에서 확인된 순환 전류(3.8[A_{rms}], 정격대비 약 20%)가 본 제안된 시스템에서는 나타나고 있지 않음을 확인할 수 있으며, 컨버터의 출력 전류를 비교해 볼 때, 전류에 포함되어 있는 고조파의 저감 효과 역시 확인할 수 있었다.

이러한 순환전류의 저감은 전술한 바와 같이 시스템의 효율화를 통한 원가 절감과 고조파 전류의 감소를 통한 전력품질개선에 기여할 수 있으며 향후 관련 기술의 추가적인 개발을 통한 본 시스템을 활용한 제품의 개발에도 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 회생제동 시스템의 순환전류 제거를 위한 절연형 회생 컨버터 시스템을 제안 하였으며 이에 대한 타당성의 확인을 위한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였고, 그 결과 순환전류의 제거 및 이를 통한 고 조파전류의 저감 등을 확인할 수 있었다. 특히 제안된 시스템의 경우 기존의 시스템에서 나타나고 있는 정격 대비(실효치 기준) 약 20% 정도의 순환전류가 발생되지 않고 있음을 확인할 수 있어 제안된 시스템의 타당성을 검증할 수 있었다. 향후 실 시스템의 구성 및 실험을 통해 제안된 시스템의 추가적인 타당성을 확인할 필요가 있다.

참 고 문 헌

[1] "Announcement of Enhancement of Regenerative Braking System, 2018", Korea Electric Power, Co., 2018

[2] Donald Vollrath, "Regenerative Elevator Drives," *Elevator World*, pp. 95 - 128, June 2010.

[3] S. Saha, A. V. Dandekar, V. P. Sundarsingh, "A modified approach of feeding regenerative energy to the mains", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. IE-43, no. 4, pp. 510-514, 1996.

[4] M. Nomura, et. al. "Regenerative power control for VVVF motor drive(critical braking method applied to the elevator)," *Applied Power Electronics Conference*, pp. 124-128, 1988.

[5] S. Saha, et. al., "Regenerative braking in a low power lift drive system," *proceedings of International Conference on Power Electronic Drives and Energy Systems for Industrial Growth*, 187-193, 1998

[6] Korea Elevator Safety Agency,

<http://www.koelsa.or.kr>

[7] "Development and demonstration of high efficiency power system for elevation equipment," Ministry of Trade, Industry and Energy, 2018.

저자약력

안준선 (Joonseon Ahn)

[정회원]



- 1993년 한양대학교 전기공학과 졸업.
- 2006년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박).
- 2008년~현재 오산대학 전기과 부교수

〈관심분야〉 전력전자, 전동기제어, 전력변환