

# 유도전동기 구동용 인버터의 회생 에너지 억제 방법

이성호, 정세종  
현대중공업

## A Method of Suppressing Regeneration Energy for Induction Motor Drive

Sung-Ho Lee, Se-Jong Jung  
Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

### ABSTRACT

유도 전동기의 구동을 위한 범용 인버터는 다양한 산업현장의 부하 특성에 맞게 운전 가능하도록 범용성을 지니고 있다. 다양한 부하 중 큰 관성을 가진 부하의 감속시, 혹은 주기적인 패턴으로 변하는 부하의 경우에 인버터는 감속토크를 발생시킨다. 이러한 감속토크는 인버터의 DC 링크단에 회생 에너지를 유입시켜 DC 링크 전압을 상승시킨다. 그리고 전압 상승으로 인한 평활 커패시터의 소손을 막기 위해 인버터 출력을 차단시켜 정상적인 운전을 할 수 없다.

본 논문에서는 회생토크가 간헐적으로 발생하는 부하에서 별도의 장치 없이 출력주파수만을 가변하여 출력토크를 평균적으로 제어함으로써, 회생에너지에 의한 DC 링크 전압 상승을 방지하는 알고리즘을 제안하였다. 그리고 22kW 유도전동기 실험을 통해 이를 검증하였다.

### 1. 서론

산업용 인버터의 구동 대상인 여러 부하는 각각의 종류에 따라 고유한 토크, 속도 특성이 있고, 인버터는 해당 부하에 맞는 기능을 수행할 수 있도록 해야 한다. 부하를 특성에 따라 구분하면 팬, 펌프 부하, 권상 부하, 견인 부하, 장력 제어 부하, 프레스 기계부하로 나눌 수 있다.<sup>[1]</sup> 특히 회생 에너지가 빈번하게 발생하는 부하의 예로써 권상 부하, 관성이 큰 부하의 감속, 주기적인 토크 패턴으로 운전하는 기계부하가 있다. 권상 부하의 경우 한 번의 상하 운동 동안 시스템의 가 감속을 위해 지속적인 양의 토크 또는 음의 토크를 출력해야 한다. 부하 조건이 음의 토크를 출력해야 하는 경우 회생 에너지가 지속적으로 발생되므로 시스템의 안정성 및 에너지 효율을 높이기 위해 DB(Dynamic braking) 유닛을 설치하거나 회생 가능한 컨버터를 사용 해야 한다.

하지만 관성이 큰 부하의 감속 시나 주기적인 음의 토크가 발생하는 기계부하의 경우에는 음의 토크가 간헐적으로 발생하고, 정속 운전이 필요하지 않다. 인버터 사용자 입장에서 저비용으로 부하를 구동하는 것을 원하는데, 이들 부하와 같이 지속적인 음의 토크를 요구하지 않는 부하에 DB 유닛, 혹은 회생형 컨버터를 사용하는 것은 경제적이지 못하다.<sup>[2]</sup> 본 논문에서는 주기적으로 회생이 발생하고 정속 운전을 요하지 않는 부하의 대하여 DC 링크 과전압을 억제할 수 있는 회생 에너지 억제 알고리즘을 제안하였다.

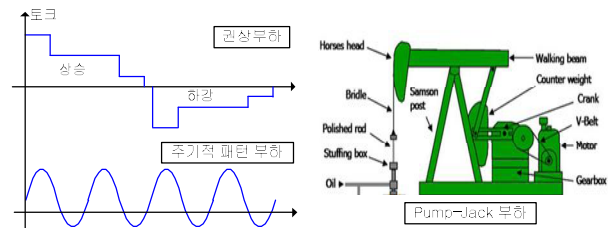


그림 1 회생 발생 부하

### 2. 회생 에너지 억제 알고리즘

프레스, 펌프-잭과 같이 주기적 패턴을 가진 부하의 경우 정확한 속도제어를 요구하기 보다 주기적으로 발생하는 회생 에너지를 효과적으로 억제하며 운전하는 것이 중요하다. 이러한 부하들에 대해서 음의 토크가 발생하지 않도록 주파수 보상량을 설정하여 회생을 억제하는 알고리즘을 제안한다.

그림 2는 인버터의 주파수 출력 시퀀스로써 첫 단계로는 인버터에서 전동기로 제공되는 전압과 전류를 측정하여 회전자 자속  $\lambda_{dr}$ ,  $\lambda_{qr}$  을 추정한다. 추정된 회전자 자속과 측정된 출력 전류로부터 식(1)과 같이  $q$ 축 전류를 계산한다.

$$I_{qe} = \frac{\lambda_{dr}^* I_{qs} - \lambda_{qr}^* I_{ds}}{\sqrt{\lambda_{dr}^* \lambda_{dr} + \lambda_{qr}^* \lambda_{qr}}} \quad (1)$$

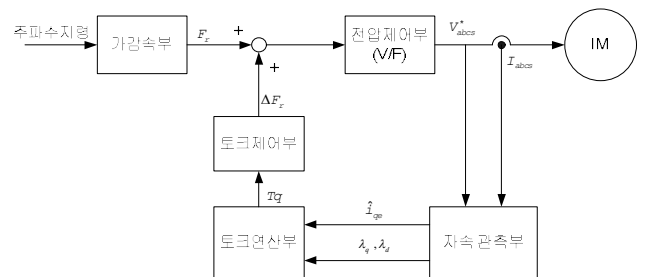


그림 2 인버터의 주파수 출력 시퀀스

그리고 자속 관측부에서 추정된 자속  $\lambda_{dr}$ ,  $\lambda_{qr}$  과 계산된 q축 전류  $I_{qe}$  를 이용하여 식(2)와 같이 토크  $T_q$  를 계산한다.

$$T_q = \frac{3 P L_m}{2 L_r} (\sqrt{\lambda_{dr}^* \lambda_{dr} + \lambda_{qr}^* \lambda_{qr}}) I_{qe} \quad (2)$$

정속 운전시 출력 토크  $T_q$  는 부하 토크를 추종하게 된다. 부하 토크가 음의 토크인 경우 출력 토크 또한 음의 토크를 내고 이는 DC링크에 회생 에너지가 유입되게 한다. 따라서 회생 상황을 억제 하기 위해서 PI제어기를 사용하여 출력토크를 0으로 유지시킨다. 이렇게 계산된 출력 주파수의 보상량을 지령주파수에 더해지게 된다.

$$\square F_r = K_p (0 - T_q) + \frac{K_i}{s} (0 - T_q) \quad (3)$$

산업용 인버터는 속도 토크 그래프의 4상한 어디서든 운전 가능하므로 회생 상황인 경우와 아닌 경우를 구분해서 출력 주파수의 보상량  $\square F_r$  을 더해줘야 한다. 이를 위해 전동기 속도와  $\square F_r$  을 곱하여 그 값이 양수일 경우에는 1, 3상한이므로 회생 상황이 아니며, 음수일 경우엔 2, 4상한의 회생 상황으로 판단한다. 회생 상황일 경우에만  $\square F_r$  을 더해주도록 설계하였다. 일련의 과정은 그림 3의 알고리즘 순서도에 나타내었다.

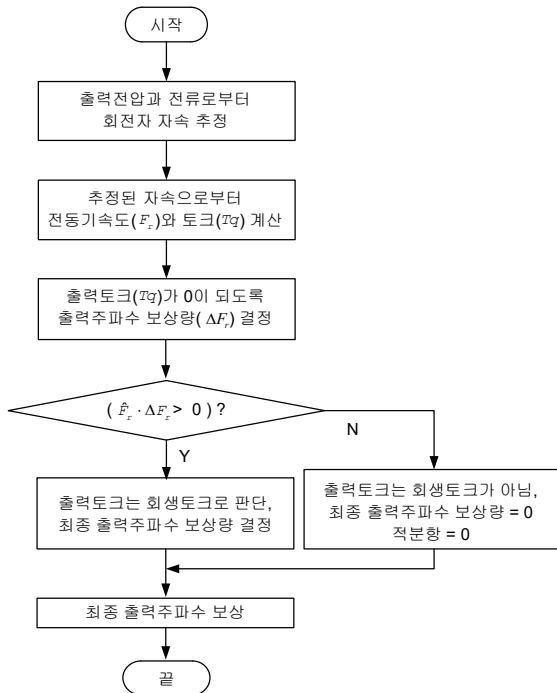


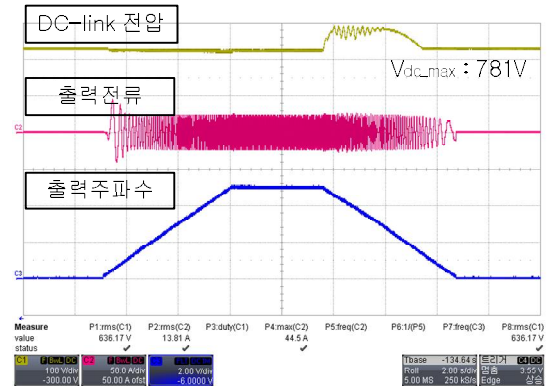
그림 3 회생 에너지 억제 알고리즘

### 3. 실험 결과

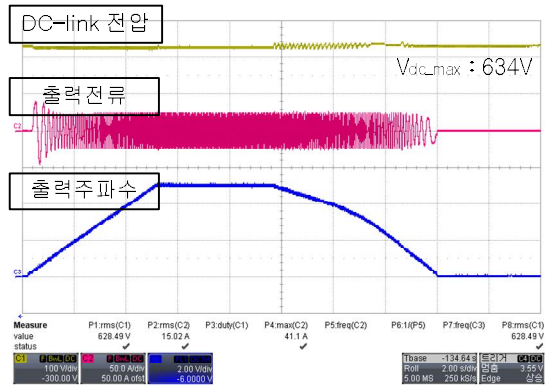
제안한 회생 에너지 억제 알고리즘을 검증하기 위해 유도전동기(정격 : 22kW, 440V, 44.5A)로 감속시간을 5s로 설정하고 감속시 회생 상황을 주어 실험하였다. 그림 4(a)에 나타난 회생 억제 알고리즘을 적용하기

전의 결과는 회생이 발생하여 DC링크 전압이 인버터 내부의 과전압 레벨인 780V까지 상승하였다. 과전압 보호 동작이 실행되어 그 이상으로 상승하지는 않는 것을 볼 수 있다.

그림 4(b)에 나타난 회생 에너지 억제 알고리즘을 적용한 경우에는 회생을 회피하기 위한 출력주파수 보상량으로 인해 감속시간은 6.1s로 약간 증가하였지만, DC링크 전압은 감속하기 전과 차이 없는 630V근처에서 제어가 잘됨을 확인할 수 있다. 출력전류도 안정되어 전동기에 무리가 가지 않고 감속할 수 있다.



(a) 알고리즘 적용 전



(b) 알고리즘 적용 후

그림 4 감속시 회생 억제 알고리즘 적용 비교

### 4. 결론

본 논문에서는 주기적인 패턴을 가지고 음의 토크를 발생시키는 부하, 그리고 큰 관성을 가지는 부하의 감속시에 대응하는 회생 에너지 억제 알고리즘을 제안하였다. 이들 부하는 정속 제어를 요구하지 않으므로 DB 유닛이나 회생형 컨버터 같은 별도의 장치 없이 회생 억제 알고리즘만으로 회생 상황을 회피하여 DC링크의 과전압을 방지하였다. 그리고 실험을 통하여 제안 알고리즘의 타당성을 입증하였다.

### 참고 문헌

[1] 설승기, "전기기기 제어론", 홍릉과학출판사. 2012  
 [2] Swamy M. M., Kume T. J., Fujii S., Yukihira Y., Sawamura M., A Novel Stopping Method for Induction Motors Operating from Variable Frequency Drives, IEEE Transactions on Power Electronics, 19. 2004