

터보 블로워를 고속 유도전동기의 새로운 기동방법

이진우

두원공과대학교 전기공학과

Novel Starting Method of High Speed Induction Motor for Turbo Blowers

Jin-Woo Lee

Doowon Technical University College, Dept. of Electrical Engineering

ABSTRACT

This paper proposes a novel starting method of a high speed induction motor with air bearings for turbo blowers. The friction of air bearings varies according to rotating speed, operating temperature and usage time. Specially, friction torque at initial starting state under low bearing temperature usually results in starting failures of the conventional V/F control method. Therefore, this paper proposes a new starting method, which consists of an initial I/F control mode and smooth transition method to V/F control mode to overcome the starting failure. The experimental results are shown to verify the analysis and the usefulness of the proposed method.

1. 서론

터보 블로워는 효율이 높기 때문에 하수처리 시스템 등에 적용되고 있으며, 또한 고속으로 운전되기 때문에 공기베어링을 사용하고 있다. 구동용 전동기로는 유도전동기와 영구자석 동기전동기(Permanent Magnet Synchronous Motor, PMSM)가 사용되고 있으며, 가격 면에서 중소용량의 경우에 유도전동이 유리하다.

고속 유도전동기를 사용한 터보 블로워에 기존의 V/F 제어방식을 적용하여 사용하고 있으나, 공기베어링의 마찰 특성이 회전속도, 동작 온도, 사용 시간 등에 따라서 변하기 때문에 다양한 실험을 통하여 안정한 기동을 할 수 있도록 V/F 제어 관련 상수를 조정하여 사용하더라도 조건이 변하는 경우에 기동 실패가 발생하고 있으며, 이 때문에 인버터 용량을 키워야 하는 경우가 발생한다. 기존의 V/F 제어 방법은 기동 초기 마찰 토크가 크지 않는 볼 베어링 등을 사용하는 경우에 안정적으로 사용할 수 있으나, 공기 베어링과 같이 기동 초기 마찰 토크가 큰 경우에는 기동 실패를 발생하기 때문에 기동방법 보완이 요구된다.

한편 동기전동기의 센서리스제어 제어방식 중에서 전동기 모델 기반방법은 기동 및 저속 운전 특성을 보완하기 위해 개루프 I/F 제어방법을 이용하여 기동한 후에 어느 정도 속도 이상에서 센서리스제어 하는 방법으로 압축기, 터보 블로워 등에 적용되고 있다^{[1][2][3]}.

본 논문에서는 공기 베어링을 사용하는 고속 유도전동기의 안정한 기동을 위하여 초기 기동 시에는 I/F 방법을 사용하고 일정 속도 이상에서는 기존의 V/F 제어 방법으로 부드럽게 천이하는 방법을 제시하고, 실험을 통하여 제안한 방법의 안정한 기동 및 운전 특성을 보이고자 한다.

2. 새로운 기동 방법

유도전동기는 V/F 제어 방법을 이용하여 다양한 가변속 응용 분야에 적용되고 있으며, V/F 제어방법의 기본은 전동기의 자속을 일정한 값으로 유지함으로써 전동기 설계시의 토크-속도 특성을 유지하는데 있다^[4]. V/F 제어에서는 정해진 V/F 비에 따라 주파수가 정해지면 대응하는 전압을 전동기에 인가하는 방식이기 때문에 실제 전동기에 흐르는 전류는 전동기의 상태에 따라 정해지게 된다. 기동 시에 토크가 크게 요구되지 않는 응용 분야에서는 주파수를 서서히 증가하면 전동기 전류가 부드럽게 흐르면서 기동하지만, 공기 베어링과 같이 초기 마찰 토크가 큰 경우에는 충분한 기동토크가 발생하지 않아서 전동기가 기동이 되지 않은 상태에서 정해진 주파수 지령 증가에 따라 인가전압이 계속 증가하여 과전류가 발생할 수 있다. 그림 1은 공기 베어링을 사용한 터보 블로워에 대한 실험으로 100HP 고속 유도전동기에 300Hz 주파수 지령을 인가한 경우로서 기존 V/F 제어 유도전동기 한 상의 전체 전류파형이며, 초기에 기동전류가 크게 흐르는 것을 볼 수 있다.

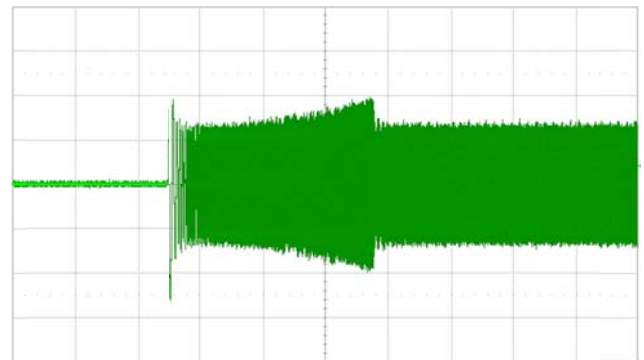


그림 1 V/F 제어 고속 전동기 전류파형(100A/div, 1s/div)

전압원으로 유도전동기를 구동하는 V/F 제어의 경우에 전동기는 토크-속도 특성곡선 상의 안정한 운전 점에서 동작되지만 전류원으로 구동하는 I/F 제어에는 불안정·동작 점에서 운전되기 때문에 V/F 제어방법이 널리 사용되고 있다. 한편, 그림 1과 같이 초기 큰 기동토크를 필요로 하는 부하의 경우에 초기 전류를 제한하기 위하여 V/F 제어에 다양한 방법을 적용하고 실험을 통하여 V/F 제어 상수를 결정하더라도 기동 전류를 적절히 제한하는데 어려움이 크다.

본 논문에서는 그림 1과 같이 큰 초기 기동전류를 적절히 제한하는 새로운 기동방법으로 V/F 제어를 기본으로 하여 초기에 I/F 제어방법으로 기동한 후에 일정속도 이상에서 V/F 제어로 부드럽게 천이하는 방법을 제안한다.

유도전동기의 회전자 자속을 생성하기 위해서 회전자 시정수의 약 3배 이상의 시간 동안 일정한 직류 전류를 인가하여야 하며, 발생 자속의 크기가 인가 직류전류의 크기에 비례하므로 정격자속을 발생하기 위해서 적절한 크기의 전류를 인가하여야 한다. 그러나, 전동기 상수를 이용하지 않고 제어하기 위해서는 인가시간 및 전류 크기를 적절히 정하는 방법이 필요하다. 본 논문에서는 전류 인가시간을 여유 있게 설정하고, 직류전류 크기를 정하도록 하여 필요한 자속을 발생시키도록 한다.

초기 직류 전류를 인가한 후에 기동을 위하여 주 수를 증가하면 전동기 입력 전류는 자속분 전류와 토크분 성분으로 나뉘게 된다. 그러므로 일정 자속을 유지하기 위해서는 부하 토크에 대응하여 전류 크기를 변화시켜야 한다. 전동기 상수를 이용하지 않고 이에 대응하는 제어를 하기 위해서 본 논문에서는 V/F 제어를 기준으로 하여 전류 크기를 조절하도록 한다. 전류 제어기의 출력직렬 단자전압이 V/F 제어에 의한 출력 단자전압 기준치를 추종하도록 기준전류제어기(PI)를 구성하여 전류를 조절하도록 한다.

한편 I/F 제어에서 V/F 제어보다 부드러운 전이를 위하여 V/F 제어에 의한 지령 단자전압과 전류제어기의 출력 단자전압 크기 사이에 차이가 있는 경우 서서히 지령 단자전압과 같아지도록 하여 갑작스러운 지령 단자전압에 따른 전류 과도상태를 피하도록 한다.

3. 실험 결과

제안한 새로운 기동방법을 검증하기 위해서 실험에 사용한 터보 블로워용 고속 유도전동기의 사양은 표 1과 같으며, 1버터 스위칭주파수는 8kHz, 전류제어 연산주기는 125μs이다. 초기 직류 전류 인가시간과 기준전류제어기 및 전류제어기의 이득은 실험을 통하여 각각 결정하였다.

그림 2는 적절한 초기 기동전류 설정에 따른 기동파형을 나타낸 것으로 기에 자속을 만들기 위하여 일정시간 직류를 인가한 후에 주 수 지령에 따라서 기동을 하면 전류크기는 기준전류제어기에 의해서 제어되며, 200Hz에서 V/F 제어로 전이가

표 1 고속 유도전동기의 사양

정격출력	정격전압	극수	1대속도
100HP	370V	2	27,000rpm

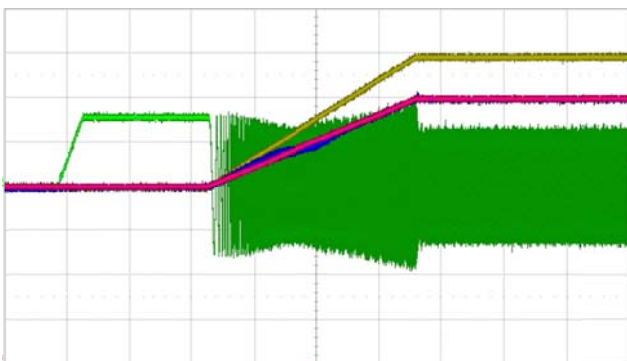


그림 2 제안한 방법에 의한 기동파형(지령주파수: 300Hz, 녹색: 상전류 100A/div, 노랑색: 지령주파수 100Hz/div, 적색: 기준전압 100V/div, 청색: 단자전압 100V/div, 1s/div)

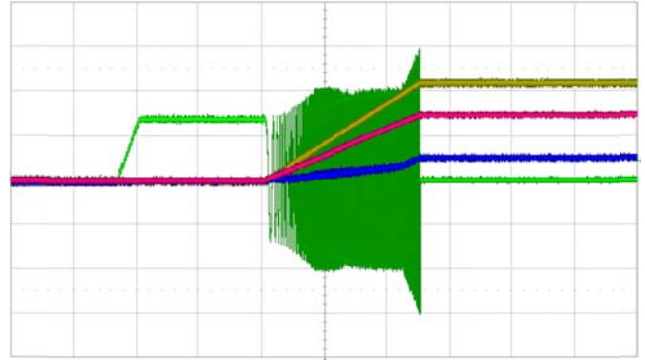


그림 3 제안한 방법에 의한 기동파형(지령주파수: 300Hz, 녹색: 상전류 100A/div, 노랑색: 지령주파수 100Hz/div, 적색: 기준전압 100V/div, 청색: 단자전압 100V/div, 1s/div)

이루어진다. 초기 기동시의 전류 침투크기는 그림 1의 기준 V/F 제어의 약 250A와 비교하여 약 160A로 개선되었음을 알 수 있다. 또한 전동기의 단자전압이 V/F 기준전압을 추정함으로써 기동이 성공적으로 이루어짐을 보이며, 200Hz에서 V/F로 전이하는 부분에 인가전압을 서서히 연속적으로 변화함으로써 전류가 부드럽게 제어됨을 알 수 있다.

그림 3은 초기 기동전류 설정치가 낮은 경우로서 주파수 지령에 따라 기준전류제어기로 전류크기를 증가하여도 전동기가 기동하지 못하는 경우이며, 전동기의 단자전압이 I/F 제어구간에서 V/F 제어에 의한 기준 단자전압을 추종하지 못하고 있음을 보여준다. 즉 기동기 내에서 자속이 충분히 확보되지 않아서 토크가 발생하지 못하는 것을 간접적으로 보여준다.

따라서 성공적인 기동을 위해서는 자속이 충분히 확보되도록 초기 기동전류를 설정하는 것이 필요하고, 또한 공기베어링의 특성 변화를 고려하여 여유를 갖도록 크기를 설정하는 것이 요구된다.

위의 실험 결과를 통하여 제안한 새로운 기동 방법을 사용하면 초기 마찰 토크가 큰 경우에도 안정적인 기동이 가능하여 V/F 제어에 의한 고속 유도전동기의 구동이 가능함을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 공기 베어링을 사용하는 고속 유도전동기의 안정적인 기동 방법을 제시하고 실험을 통하여 타 성능을 검증하였다. 제안한 방법을 적용하면 초기 큰 기동토크를 필요로 하는 부하인 경우에도 안정적인 기동이 가능하기 때문에 V/F 제어방법을 사용할 수 있다.

참고 문헌

- [1] A. Dianov, J.Y. Choi, K.W. Lee, and J.H. Lee, "Sensorless Vector Controlled Drive for Reciprocating Compressor", in Proc. IEEE PESC, pp. 580-586, 2007.
- [2] Y.S. Park, S.K. Sul, J.K. Ji and Y.J. Park, "Analysis of Estimation Errors in Rotor Position for a Sensorless Control System Using a PMSM", Journal of Power Electronics, vol. 12, no. 5, pp. 748-757, Sept., 2012.
- [3] J.W. Lee, "Adaptive sensorless control of high speed PMSM with back EMF constant variation", USB in ICPE 2015-ECCE Asia, WeC3-4, Jun, 2015.
- [4] 설승기, '전기기기 제어론', 홍릉과학출판사, 2007.