

가변속 터보냉동기의 기동특성에 관한 연구

김희선, 윤희민, 나승호
LS산전 자동화 제품 연구소

A Study on the Starting Characteristic of Variable Speed Centrifugal Chiller

Hee Sun Kim, Hong Min Yun, and Seung Ho Na
LSIS Automation Product R&D Center

ABSTRACT

The electric motor is essential to drive turbo machinery. In order to overcome the speed limitations of general motors, the inverter is used to perform high speed to tens of rpm. The high speed drives are widely used in many applications such as turbo blower, turbo centrifugal compressors, and pump using air bearing technique.

Starting of high speed motor can cause step out, stall, oscillation of motor because the phase inductance is much smaller than that of ordinary motor.

This paper studied on the starting characteristic of variable speed centrifugal chiller considering high speed motor characteristics. Finally, the superiority of the inverter is verified by experimental results.

1. 서론

고속 전동기는 터보기계를 구동하는 원동기로 사용되며, 펌프, 송풍기, 냉동기, 진공펌프 등 다양한 산업 분야에서 사용되고 있다. 일반 산업용 전동기의 최고 속도는 2극기의 경우 최대 3600rpm이고, 최고 속도 이상의 회전력을 얻기 위해서는 별도의 기계적인 증속기를 설치해야 하며 이때 발생하는 비용과 기기효율 저하를 가져오게 된다. 최근에는 에너지 변환효율을 높이고 유지, 보수비용을 줄이기 위해 가변속이 가능한 인버터를 부착하여 전동기 속도를 수만 rpm까지 고속화 하는 기술이 상용화 되고 있다^[1].

모터, 터보임펠러 등의 회전기계를 고속화 하게 되면 축과 임펠러를 지지하는 베어링의 성능이 매우 중요하게 되어 에어베어링 기술이 적용되고 있으며, 에어베어링을 사용한 고속 전동기의 기동시 자기부양 기술이 필수적이다. 또한 고속 유도전동기는 상 인덕턴스가 기존의 저속 전동기에 비해 매우 작기 때문에 초기 기동시 전동기 탈조 등의 문제가 있다. 이에 본 논문에서는 고속 전동기의 기동시 발생할 수 있는 특징을 시험을 통해 분석하고, 이를 자사의 iP5A 인버터에 적용하여 고속 유도전동기를 사용한 터보냉동기 기동시험을 통하여 우수성을 검증한다.

2. 가변속 터보냉동기의 기동특성

그림 1은 가변속 터보냉동기의 기동을 위한 시스템의 구성도이다. 교류전원, 정류부, 인버터부, 고속 전동기, 터보냉동기 부하로 구성되어 있다. Main Controller로부터 입력된 전압지령

(V^*)과 주파수 지령(f^*)으로부터 PWM파형을 만들어 인버터 각 상 스위칭 소자에 스위칭 전압을 인가하는 V/f PWM Controller로 제어된다.

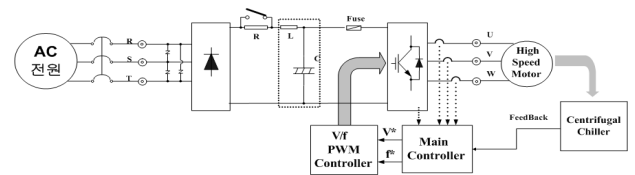


그림 1 가변속 터보냉동기의 시스템 구성도

Fig. 1 System configuration of variable speed Centrifugal Chiller

2.1 고속 전동기 및 터보냉동기 특성

2.1.1 고속 전동기

고속으로 회전하는 터보기계에 적용되는 고속 전동기는 강력한 원심에 견디는 구조와 고속회전에 따른 손실 저감 및 제어의 용이성 등의 기술이 요구된다. 고속 전동기는 공기를 가속시키는 임펠러(Impeller), 가속된 공기의 흐름을 감속시켜 속도에너지를 압력에너지로 전환시키는 디퓨저(Diffuser) 등으로 구성되어 있다. 본 시스템에서는 공기가 윤활제 역할을 수행하며 축이 베어링과 마찰 없이 자기 부양되어 회전하는 에어베어링 기술을 사용한 고속 유도전동기를 사용한다. 에어베어링을 사용하는 고속 전동기는 기동 시에 마찰이 발생되면 마모가 되므로 낮은 출력 주파수에서 부양시키는 기술이 매우 중요하다.

2.1.2 터보냉동기

터보냉동기는 증기 압축식 냉동기의 일종으로 원심압축기를 사용하여 대 유량의 냉매를 압축하는 장치이다. 냉매를 작동 유체로 하여 증발, 압축, 응축, 팽창 과정의 냉동 사이클을 수행한다. 최근 터보냉동기의 사용에 있어 부분부하 운전이 필수적이며^[2], 전체 부하 영역에서 안정된 운전과 고효율을 요구하는 추세여서 인버터에 의한 전동기 속도 제어방식의 터보기계 구동이 필수적이다. 인버터를 통한 속도 제어는 압축기로 유입되는 유량 제어에 의해 저·고유량 운전시 스톱(Stall) 및 서지(Surge)를 피해 넓은 범위에서 압축기 운전이 가능하다.

2.2 기동특성

자사의 범용 인버터는 용도나 부하에 따라 적당한 출력특성을 선택 가능하다. 컨베이어, 주차설비 등에 적용되는 출력전압

과 출력주파수가 일정비율로 변하는 정토크 부하에 적합한 Linear V/f, 부하의 크기가 주파수의 제곱에 비례하여 변하는 팬, 펌프 등의 부하에 적합한 Square V/f, 특수한 경우에 출력 전압과 출력주파수의 비율을 사용자가 임의로 설정할 수 있는 User V/f 제어가 있다. User V/f 제어는 시동주파수와 기저주파수 사이에 4점의 주파수 및 전압을 설정할 수 있다.

고속 전동기의 경우 일반 전동기와 달리 임펠러와 축 사이에 에어베어링을 사용하기 때문에 초기 기동시 에어베어링의 자기부양 기술이 매우 중요하다. 기동시 에어베어링을 자기부양 시키지 못할 경우 에어베어링 및 축의 소손이 발생한다. Square V/f의 경우 초기 기동시 낮은 자속비가 인가되어 기동시 과전류가 발생하였으며, 저주파수 운전영역에서 각각 다른 User V/f 패턴 적용 시험시 에어베어링의 자기부양 실패로 소음 및 진동 발생에 의한 베어링 소손이 발생하였다. 이에 본 논문에서는 에어베어링을 사용한 고속 전동기의 기동시 탈조방지 제어기법을 적용 후 초기에 큰 전압을 인가하는 적합한 V/f 패턴을 적용하여 베어링의 안정적인 자기부양을 하고자한다.

고속 전동기는 낮은 임피던스로 인해 초기 기동시 과전류 발생에 의한 모터의 구속 및 탈조 현상이 발생할 수 있다. 초기 기동시 출력 주파수의 변동에 민감한 특성을 보이므로 충분한 자속 공급과 소음 및 진동 억제 기동이 매우 중요하다. 본 논문에서 사용한 탈조방지 제어 블록도는 그림 2와 같다. 인버터의 출력전류가 지령전류의 제한값보다 일정시간 이상 클 경우 주파수를 유지하며, 제한값 이하로 복귀될 경우 V/f 운전을 수행한다.

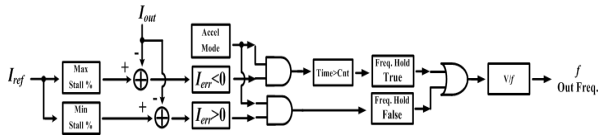


그림 2 기동시 제어 블록도
Fig. 2 Control diagram in starting process

3. 시험 결과

고속 전동기를 사용한 터보냉동기의 기동특성을 검증하기 위하여 자사의 400[V] 타입의 iP5A 110[kW] 인버터를 적용하여 터보냉동기 기동시험을 수행하였다. 그림 3은 터보냉동기 시스템 및 고속 전동기의 사진이다.



그림 3 터보냉동기 및 고속 전동기
Fig. 3 Centrifugal Chiller and high speed motor

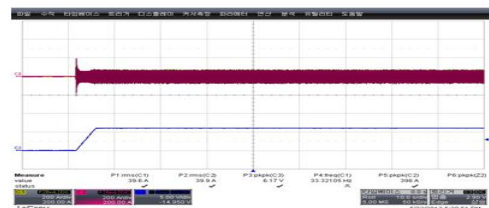
터보냉동기 기동에 사용된 고속 유도전동기의 사양은 표 1과 같다. 용량 75[kW], 정격전압 360[V]의 고속 유도전동기의 기저주파수는 450[Hz]이며, 최대주파수는 500[Hz]이다. 인버터의 캐리어 주파수는 고속운전을 위하여 8[kHz]로 수행하였다.

표 1 고속 유도전동기 파라미터
Table 1 High Speed Induction Motor parameters

전동기 용량	75[kW]	극수	2
정격슬립	1.33[Hz]	정격전류	125[A]
무부하 전류	19.1[A]	전동기 전압	360[V]

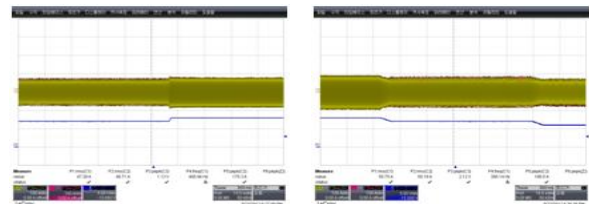
그림 4는 운전지령 300[Hz]으로 가속한 경우의 시험결과이다. 기동특성을 반영하여 4개의 운전지점은 1[Hz]에서 1.4[%], 9.6[Hz]에서 4.9[%], 219[Hz]에서 50[%], 450[Hz]에서 100[%]의 전압을 출력하였다. 상단파형은 인버터 출력전류이고, 하단파형은 운전지령이다. 초기 기동시 소음 및 진동 없이 에어베어링을 자기부양 시켰으며, 터보냉동기 또한 정상 압력을 출력함을 확인하였다.

그림 5는 운전지령 변경에 따른 터보냉동기의 운전을 수행한 시험결과이다. 그림 5(a)는 운전지령을 300[Hz]에서 400[Hz]로 가속시키고, 그림 5(b)는 운전지령을 400[Hz]에서 50[Hz] 단위로 감속시켰다. 운전지령의 변화에 따라 정상 운전함을 알 수 있다.



(Horizontal :10[s]/div., Vertical : 200[A]/div.)

그림 4 300[Hz] 운전시 출력전류 파형
Fig. 4 Output current waveform at 300[Hz] operation



(Horizontal : 10[s]/div., Vertical : 100[A]/div.)

(a) 가속 운전시 (b) 감속 운전시

그림 5 가변속 운전시 출력전류 파형
Fig. 5 Output current waveforms at variable speed operation

4. 결론

본 논문에서는 고속 전동기를 사용하는 터보냉동기의 기동 특성에 관하여 분석하였다. 에어베어링을 사용하는 고속 전동기의 기동을 위하여 안정된 자기부양에 적합한 자속비 인가 및 전동기 탈조방지 제어기법을 적용하였다. 이를 적용한 가변속 터보냉동기의 기동 시험을 통하여 고속 전동기의 안정된 기동 및 터보냉동기의 지령 압력을 정상적으로 출력함을 확인하였다. 자사의 인버터는 현재 팬, 펌프 부하 등에 적용되고 있으며, 본 논문의 고속 전동기를 사용하는 터보냉동기 적용사례를 통하여 향후 고속 터보블로워, 터보냉동기와 같은 응용분야에도 널리 적용될 것으로 기대된다.

참고 문헌

[1] W. L. Soong, G. B. Kliman, R. N. Johnson, R. A. White, and J. E. Miller, "Novel High Speed Induction Motor for a Commercial Centrifugal Compressor", *IEEE Trans. on Ind. Appl.*, Vol. 36, Issue 3, pp. 706-713, 2000.
[2] 이현구, "터보냉동기의 특징 및 관련기술", 유체기계공업학회 유체기계저널, 제 6권 제 4호, pp. 86-93, 2003. 12.