

# 오일 쿨러용 컴프레서의 속도 맥동에 관한 연구

신광현, 이재석, 황선환  
경남대학교

## A Study on Speed Ripple Reduction of Compressor for Oil Cooler

Gwang-Hyun Shin, Jae-Seok Lee, Seon-Hwan Hwang  
Kyungnam University

### ABSTRACT

본 논문에서는 오일 쿨러용 컴프레서의 속도 맥동에 의한 영향을 분석하고 이를 저감하기 위한 알고리즘을 제안한다. 일반적으로 공작기계의 공작물 가공부위에서 발생하는 열 변형 오차를 줄이기 위해 오일 쿨러용 컴프레서가 사용된다. 하지만 싱글 로터리 구조의 컴프레서에서 발생하는 기계적인 진동은 배관의 피로파괴와 소음을 야기하므로 반드시 저감시켜야 한다. 따라서 본 논문에서는 싱글 로터리 컴프레서의 운전 시 발생하는 속도 맥동의 영향을 최소화할 수 있는 실시간 보상기법을 제안한다. 제안된 기법은 특정 맥동 성분을 저감할 수 있는 비례공진제어기를 적용하여 속도 맥동의 주파수 성분을 검출하여 이를 최소화 하는 방향으로 보상신호를 주입하는 방식이다. 시뮬레이션과 실험을 통해 제안하는 기법의 효용성을 검증한다.

### 1. 서론

최근의 공작기계는 매우 고속으로 가동되기 때문에 공작물의 가공 부위에 상당한 열이 발생한다. 열은 공작기계의 특정 부품과 공작물의 열 변형을 초래하고 이로 인해 공작물의 가공 정밀도와 공작기계의 신뢰성이 저하된다<sup>[1]</sup>. 이와 같은 열 변형 오차를 줄이기 위해 오일 쿨러용 컴프레서가 사용된다. 하지만 싱글 로터리 구조의 경우, 구조적인 문제로 토크 맥동이 발생한다. 이러한 토크의 변화는 결국 컴프레서의 진동으로 나타나 배관의 피로파괴와 소음이 일어나며 시스템의 성능을 저하시키거나 오동작을 일으키는 원인이 된다. 그림 1은 컴프레서용 전동기를 구동하기 위한 센서리스 알고리즘 기반의 영구자석 동기 전동기 제어 시스템을 나타내며 속도 제어기, 전류제어기, 속도 및 위치 추정 알고리즘 등으로 구성되어 있다. 이러한 시스템 하에서 기계적인 토크변화는 속도 맥동을 야기한다. 이는 기계적인 성능뿐만 아니라 제어성능 또한 저하시키므로 반드시 개선되어야 한다.

따라서 본 논문에서는 싱글 로터리 컴프레서의 운전 시에 발생하는 속도 맥동을 보상하기 위하여 비례공진 제어기를 이용한 보상 알고리즘이 제안되었다. 제안된 알고리즘은 속도 맥동에 의해 발생하는  $q$ 축 전류의 0.5배 맥동을 검출하여 전향보상함으로써 기계적인 진동을 저감한다. 제안된 알고리즘의 유용성은 시뮬레이션과 실험을 통해 증명되었다.

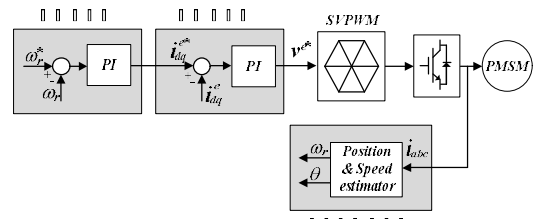


그림 1 센서리스 알고리즘 기반의 영구자석 동기전동기의 제어기 블록도

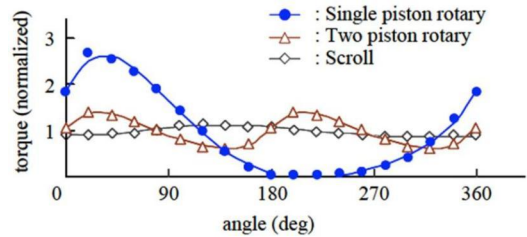


그림 2 컴프레서별 1회전 당 토크 패턴변화

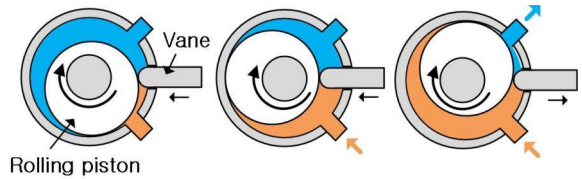


그림 3 싱글 로터리 컴프레서의 구조

### 2. 오일 쿨러용 컴프레서의 기계적 특성

오일 쿨러용 컴프레서는 싱글 로터리, 트윈 로터리, 스크롤 3가지 방식이 주로 사용되는데 트윈 로터리와 스크롤 방식은 성능에 비하여 가격이 고가이며 소형화와 경량화에 한계가 있어서 싱글 로터리 방식이 많이 사용된다. 하지만, 싱글 로터리 컴프레서는 구조적인 문제로 인하여 진동이 필연적으로 발생하는 단점을 갖는다. 그림 2는 컴프레서의 종류에 따른 1회전 당 토크 패턴변화를 나타낸다<sup>[2]</sup>. 싱글 로터리의 경우 1회전 당 토크 변화량이 트윈 로터리와 스크롤 방식에 비해 매우 큰 것을 확인할 수 있다.

그림 3은 싱글 로터리 컴프레서의 구조를 나타낸다. 싱글 로터리 컴프레서는 하나의 피스톤이 회전하면서 1회전에 압축과 토출을 1번씩하게 된다. 냉매 압축 시에는 높은 부하토크가 발

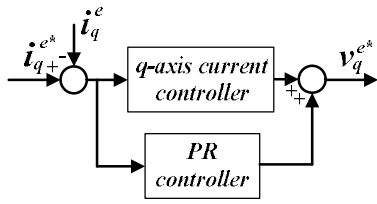


그림 4 비례공진 제어를 갖는 속도 맥동 저감 알고리즘

생하다가 토출 밸브가 열린 직후에는 부하토크가 빠르게 낮아진다. 이러한 부하토크의 변화는 속도의 변화를 가져와 진동을 발생시킨다. 발생한 진동은 속도에 전원 주파수의 0.5배에 해당하는 맥동을 야기하며 이는 동기 좌표계  $q$ 축 전류 지령에 동일한 맥동으로 나타난다. 따라서 이러한 진동에 의해 배관의 피로파괴와 소음을 발생하므로 반드시 줄여야 한다.

### 3. 보상기법

그림 4는 제안된 동기 좌표계  $q$ 축 전류맥동을 이용한 속도 맥동저감 알고리즘의 블록도를 나타낸다. 특정 차수의 고조파를 선택적으로 제거할 수 있는 특성의 비례공진 제어를 이용한 시스템으로 동기 좌표계  $q$ 축 전류에 포함된 맥동성분을 이용하여 속도맥동을 보상한다. 사용된 비례공진 제어기의 전달 함수는 식 (1)과 같다.  $K_p$ 는 비례이득,  $K_{in}$ 은 각 고조파 차수의 공진 이득,  $\omega_c$ 는 차단 주파수에서의 대역폭,  $\omega_0$ 는 계통 각 주파수,  $n$ 은 보상하고자 하는 고조파의 차수를 나타낸다<sup>[3],[4]</sup>.

$$G_s = K_p + \sum_n \frac{2K_{in}\omega_c s}{s^2 + 2\omega_c s + (n\omega_0)^2} \quad (1)$$

### 4. 시뮬레이션

그림 5는 제안된 전류제어기 보상 알고리즘의 적용 전/후의 시뮬레이션 결과를 나타내며 시뮬레이션은 Matlab/Simulink를 통해 수행되었다. 그림 5(a)는 기계적인 진동을 가중하기 위해 부하 토크에 동작 주파수의 0.5배 맥동을 인가한 후의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 영구자석 동기전동기의 운전 주파수의 0.5배 맥동이 발생하는 것을 확인할 수 있다.

그림 5(b)는 제안된 알고리즘을 적용한 후의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 상전류 및 동기좌표계  $q$ 축 전류의 파형은 왜곡되나, 속도의 맥동이 크게 저감되어 결국 기계적인 진동이 줄어들음을 알 수 있다.

### 5. 결론

본 논문에서는 오일 쿨러용 컴프레서의 토크 맥동으로 인해 발생하는 속도 맥동을 저감하는 알고리즘이 제안되었다. 싱글 로터리 방식의 컴프레서의 경우 구조적인 문제로 인해 토크 맥동이 발생하고 기계의 성능저하를 야기한다. 따라서 특정 차수의 고조파를 선택적으로 제거할 수 있는 특성을 가진 비례공진 제어를 이용한 알고리즘을 적용하여 속도 맥동을 줄이는 방향으로 전향보상 함으로써 최종적으로는 기계적 진동을 최소화 할 수 있었다. 제안된 알고리즘은 추가적인 하드웨어나 복

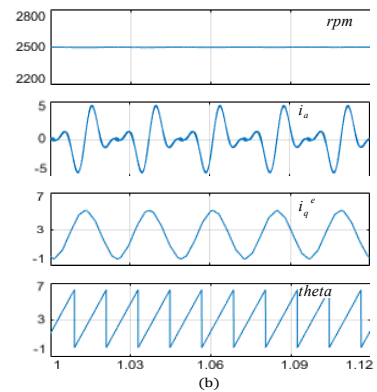
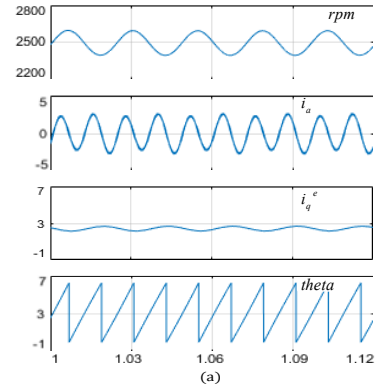


그림 5 속도 맥동 저감 알고리즘 적용 전과 후의 운전속도, 상전류,  $q$ 축 전류, 위치각 (a) 보상 전 (b) 보상 후

잡한 연산 없이 빠르고 정확한 응답특성을 가지므로 다양한 응용분야에 적용 가능 할 것으로 보인다. 제안된 알고리즘의 효용성은 시뮬레이션과 실험결과를 통해 증명하였다.

이 논문은 2016년도 정부(산업통상자원부)의 연구비 지원에 의하여 연구되었음 (RDN16003)

### 참고 문헌

- [1] Lee, S. W., Yeom, H. K. and Park, K. J., 2009, Performance of Hot Gas Bypass Type Oil Cooler System, *Journal of Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 26, No. 3, pp. 73-80(in Korean).
- [2] Kwan-yuhl Cho, "Sensorless Control for a PM Synchronous Motor in a Single Piston Rotary Compressor," *Journal of Power Electronics*, vol. 6, no. 1, pp. 29-37, Jan. 2006.
- [3] M. Castilla, J. Miret, J. Matas, L. G. de Vicuna, and J. M. Guerrero, "Control design guidelines for single-phase grid-connected photovoltaic inverters with damped resonant harmonic compensators," *IEEE Trans. on Ind. Electronics*, Vol. 56, No. 11, pp. 4492-4501, Nov. 2009.
- [4] N. Zhang, H. Tang, and C. Yao, "A systematic method for designing a controller and active damping of the LCL filter for single-phase grid-connected PV inverters," *Energies*, Vol. 7, No. 6, pp. 3934-3954, Jun. 2014.