

컴프레서용 인버터기반 유도전동기의 속도센서리스 제어

김형준, 박효원, 한창우, 김현수, 김지수, 최명수, 김태웅
경상대학교

Speed Sensorless Control of Inverter Based Induction Motor for Compressor

Hyeong Jun Kim, Hyo Won Park, Chang Woo Han, Hyun Soo Kim, Ji Soo Kim,
Myeong Soo Choi, Tea Woong Kim
Gyeongsang National University

ABSTRACT

컴프레서의 고효율 및 비용절감을 위한 인버터기반 유도전동기의 속도센서리스 제어기법을 제안하고, 컴프레서 부하특성을 고려한 유도전동기 구동시스템의 제안 제어알고리즘에 대한 유효성을 시뮬레이션을 통해 검증한다.

1. 서론

컴프레서는 공장, 사업장 전체 소비전력의 20~30%를 차지하는 최대 에너지 다소비 유체기계중의 하나로써 체계적인 고효율에너지 제어시스템이 요구된다. 최근, 고효율 컴프레서개발을 위해 가변속 전동기를 채용하여 고효율운전을 향상하는 것이 필수적이며 가변속 제어 전동기와 인버터 조합에 의한 가변속 제어를 통해 이루어 질 수 있다. 그러나 다양한 기능 및 용도의 표준 인버터를 적용할 경우, 컴프레서의 고유성능 및 효율향상에는 한계가 있으며, 고가 표준 인버터에 따른 컴프레서 제조비용 상승이 불가피하다. 현재 컴프레서 구동전동기로 영구자석형 동기전동기(PMSM)를 사용한 가변속 제어에 대한 연구가 진행되고 있다.^[1] PMSM은 유도전동기에 비해 효율이 좋다는 장점이 있지만 고가이며, 대형 컴프레서의 대부분이 유도전동기로 구동되고 있기 때문에 기존 컴프레서에 적용하기 위해서는 추가적인 비용이 발생하게 되는 단점이 있다. 그리고 구동전동기의 가변속 제어를 위한 엔코더를 사용함에 있어 신뢰성, 환경, 비용 등 문제점이 발생하게 된다.

본 논문에서는 고효율 및 비용절감 위한 컴프레서용 인버터기반 유도전동기의 속도센서리스 제어시스템을 제안한다. 컴프레서의 부하특성을 고려한 인버터제어로 고효율 성능을 향상시키고 속도추정알고리즘을 이용하여 엔코더리스로 유도전동기를 제어하여 가격경쟁력을 갖춘 제안 제어시스템의 유효성을 시뮬레이션해석을 통해 검증한다.

2. 컴프레서 제어

2.1 기존 컴프레서 제어기법

기존 컴프레서 제어기법은 정속형 방식으로 상하한 압력을 설정한 압력 변동형 기법이며 압력 변화량만큼 소비전력이 발생한다. 컴프레서 압력을 일정한 범위 내에서 유지하는 것은 에너지효율 측면에서 반드시 고려해야한다. 압축공기의 변화량 조절은 인버터를 적용하여 최소 범위로 제한할 수 있고, 흡입압력과 토출압력간의 일정한 비율을 유지함으로써 컴프레서를 가장 효율적인 작동범위에서 제어한다.

2.2 고효율 컴프레서 제어기법

제안 컴프레서 제어시스템의 블록도를 그림 1에 보여준다.

압력제어, 속도제어, 그리고 전류벡터제어로 전체 제어시스템이 구성되며 MRAS기반 속도추정알고리즘을 적용하고^[2] 컴프레서 부하특성을 고려하여 고효율 인버터기반 컴프레서 압력제어를 구현하여 전체시스템의 가격경쟁력을 향상시킬 수 있다.

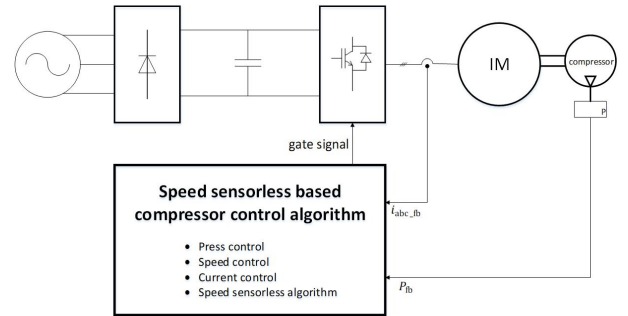


Fig 1 Block diagram of proposed compressor control system

3. 유도전동기 속도센서리스 제어

2상 고정좌표계에서 유도전동기 전압전류방정식은 식(1), 고정자 및 회전자 자속은 식(2)로 각각 표현된다.

$$\begin{aligned} \vec{v}_{1s} &= R_1 \vec{i}_{1s} + p \vec{\lambda}_{1s} \\ 0 &= R_2 \vec{i}_{2s} + p \vec{\lambda}_{2s} + \omega_r \vec{\lambda}_{2s} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \vec{\lambda}_{1s} &= L_1 \vec{i}_{1s} + L_m \vec{i}_{2s} \\ \vec{\lambda}_{2s} &= L_2 \vec{i}_{2s} + L_m \vec{i}_{1s} \end{aligned} \quad (2)$$

그림 2는 유도전동기의 속도센서리스 제어블록도를 보여준다. MRAS기반 속도추정알고리즘을 이용하여 엔코더를 사용하지 않고 유도전동기의 속도제어 및 토크제어를 수행한다. 속도추정알고리즘은 식(1)~식(4)에 의해 고정자 전압/전류를 기반으로 다음 식과 같이 회전자 자속을 추정한다.

$$\vec{\lambda}_{2s} = \frac{L_2}{L_m} \left(\int_0^t (\vec{v}_{1s} - R_1 \vec{i}_{1s}) dt - \sigma L_1 \vec{i}_{1s} \right) \quad (3)$$

전류정보는 고분해능 전류센서와 적절한 필터와의 조합을 통하여 비교적 정확하게 측정 가능하지만, 인버터를 통하여 인가되는 전압정보는 스위칭 노이즈 등으로 정확하게 측정하기가 어렵기 때문에 인버터의 지령전압을 사용한다. 이때 전압과 전류의 오프셋성분에 의해 적분기가 포화될 수 있는데, 이러한 순수적분기 문제를 해결하기 위하여 고주파통과필터(HPF)를

사용하여 회전자 자속을 추정한다. 그러나 근본적으로 동작주파수가 HPF의 차단주파수보다 낮은 영역에서는 좋은 성능을 기대할 수 없기 때문에 회전자 지령자속을 저주파통과필터(LPF)를 이용하여 보완함으로써 보다 정확하게 회전자 자속을 추정가능하다. 이와 같이 추정된 회전자 자속과 유도전동기의 전압모델에서 추정된 회전자 자속의 오차를 이용하여 회전자 속도를 추정한다.^[2]

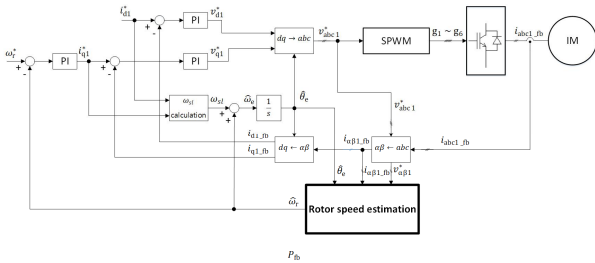


Fig 2 Block diagram of MRAS based IM speed sensorless control

4. 시뮬레이션

4.1 시뮬레이션 해석

공기압축기용 37kW급 유도전동기 및 제어시스템의 기본 사양은 표 1에 보여준다.

컴프레서는 빠른 가감속을 요구하지 않으며 속도에 대해서는 일정토크의 특성을 가지며, 토크는 흡입압력과 토출압력의 차이에 의해 구동 토크가 결정된다. 따라서 초기기동 이후 컴프레서 압력비를 일정하게 유지하도록 제어하게 되면 토크변동 없이 구동전동기를 안정적으로 제어할 수 있다. 그리고 컴프레서 소비전력은 같은 유량을 공급할 경우 압축비(토출압력/흡입압력)에 영향을 받는다. 즉, 흡입압력은 대기압으로 동일하므로 토출압력에 따라 압축비가 달라져 소비동력이 달라지며, 토출압력이 높을수록 운전동력이 증가된다.^[3] 이러한 컴프레서 부하 특성을 고려하여 시뮬레이션해석을 수행하였다. 그림 3 및 4는 각각 무부하 상태에서 유도전동기의 지령속도를 가변시켰을 때와 일정한 지령속도에서 부하를 가변시켰을 때의 회전자 속도 및 고정자전류에 대한 시뮬레이션 결과이다. 그림 5는 속도추정 알고리즘을 통해 추정된 속도와 실제속도를 비교하기 위해 회전자속도를 확대한 것이며, 속도센서 없이 유도전동기의 회전자속도를 추정하며, 지령속도 및 부하의 변동에도 전동기의 추정속도가 지령속도를 잘 추종하는 것을 확인가능하다.

Table 1 Specification of basic system and IM

item	value	
input voltage	380V/60Hz	
switching frequency	10kHz	
induction motor ABB***	rated power	37kW
	rated/max current	65.2A/163A
	rated/max torque	100Nm/250Nm
	R1/R2	0.0517Ω/0.58Ω
	L1/L2	56.341mH/57.242mH
	Lm	55.704mH
	inertia	0.217kg·m ²
number of pole	2	

5. 결론

컴프레서용 인버터기반 유도전동기의 속도센서리스 제어 시스템을 제안하였고 시뮬레이션 해석을 통해 제어시스템의 유효성을 확인하였다. 제안된 제어시스템을 실제 컴프레서에 적

용할 경우 압력정보를 이용하여 컴프레서의 압력을 효율적으로 제어가능하고, 고효율 향상뿐만 아니라 속도센서를 사용하지 않음으로써 시스템의 비용절감 효과를 기대할 수 있다.

이 논문은 중소기업청의 창업성장기술개발사업 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] 안민혁, "압축기용 동전동기의 센서리스 제어 성능 개선", 고려대학교, 2009.
- [2] Smith, A. N., Gadoue, S. M., Finch, J. W., "Improved Rotor Flux Estimation at Low Speeds for Torque MRAS Based Sensorless Induction Motor Drives", Proceedings of the IEEE Trans. on Energy Convers., Vol. 31, No. 1, pp. 270-282, 2016.
- [3] Kelly Kissock, "Modeling and Simulation of Air Compressor Energy Use", ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry, Vol. 1, No. 13, pp. 131-142, 2005.
- [4] Tea Woong Kim, Atsuo Kawamura "Slip Frequency Estimation for Sensorless Low Speed Control of Induction Motor", Proceedings of AMC 1996 MIE., pp156-161, 1996.

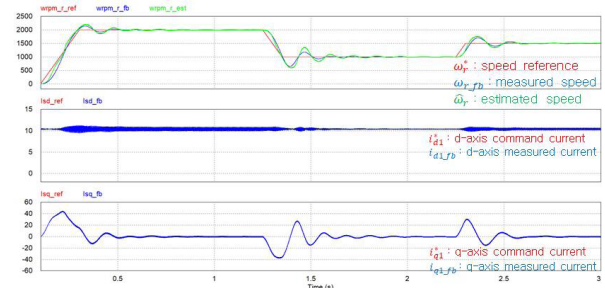


Fig 3 simulation results according to reference speed

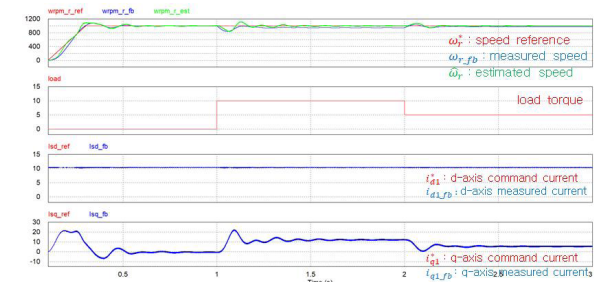


Fig 4 simulation results according to load change

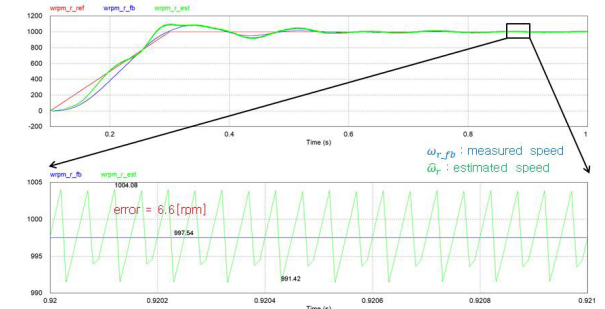


Fig 5 Expanded simulation result of rotor speed