

2상 SPMSM을 이용한 모바일 이동 로봇용 구동장치

김영기*, 조영훈**, 목형수*, 김상훈***, 김형철****, 오홍석*****, 전미림*

*건국대, **현대모비스, ***강원대, ****다사로봇, *****코모텍

Drive system for Mobile Robot using 2-phase SPMSM

Y.K. KIM*, Y.H. Cho**, H.S. Mok*, S.H. Kim***, H.C Kim****, H.S Oh*****, M.R Jeon*

*Konkuk Univ., **Hyundai Mobis, ***Kangwon Univ. ****Dasarobot, *****Komotek

ABSTRACT

본 논문에서는 2상 SPMSM을 이용하여 이동로봇의 이동 및 정지를 담당하는 일체형 액츄에이터를 제작하였다. 이 일체형 액츄에이터는 동기모터, 브레이크, 드라이브의 조합으로 이루어지며 이동로봇 등에 있어서 동작 및 성능을 좌우하는 구동장치의 핵심부품으로써 이동로봇의 품질 및 성능을 좌우한다고 할 수 있다. 그리하여 이 일체형 액츄에이터의 핵심부품인 2상 SPMSM과 이를 제어하기 위한 구동장치에 대한 제어시스템을 제안하고 이를 시뮬레이션과 실험을 통해 검증하였다.

유성 기어, 하모닉 기어 등과 같은 고감속 동력전달 방식에 비해 동력전달효율이 높기 때문에 배터리로 구동되는 이동로봇의 중요한 사양 중 하나인 사용 및 운용시간을 크게 향상시킬 수 있다. 최근에 개발이 진행되고 있는 이동로봇은 실내환경과 같은 평지를 움직이는 로봇 뿐만 아니라, 험지와 같은 실외환경에도 다양하게 적용되고 있으며, 이러한 실외환경에 적용되는 이동로봇은 그에 적합한 서스펜션 메커니즘의 개발이 중요한 설계 항목 중 하나이며 모듈화된 일체형 액츄에이터의 적용은 이동로봇의 서스펜션 메커니즘의 설계를 보다 용이하게 할 수 있다.

1. 서론

영구자석 동기 전동기(Permanent Magnet Synchronous Motor)는 넓은 운전 영역에 걸쳐서 높은 효율을 유지하는 특성 등 고유의 장점으로 인하여 산업계에서 고효율이 요구되는 응용 분야에 최적의 전동기로 각광받고 있다. 특히 세탁기, 에어컨, 냉장고를 포함한 가전기기의 동력원으로서 널리 사용되고 있다. PMSM은 영구자석으로 인한 토크 성분과 자기저항으로 인한 토크 성분을 발생시킬 수 있는데, 영구 자석으로 인한 토크 성분 때문에 상대적으로 작은 크기의 모터로도 큰 토크를 발생시키는 것이 가능하며 유효 공극이 작아 모터의 다양한 운전이 가능하다. 이에 이동 로봇용 직접구동방식 드라이브 일체형 액츄에이터의 핵심기술 중 하나인 고효율화 기술에 중요성을 두고자 PMSM을 적용하였다.^[1]

2상 전동기의 구동을 위한 2상 인버터의 연구는 소자의 수가 적은 2-레그 인버터가 주종을 이루고 있으며, 최근 3-레그 인버터에 대한 연구결과들도 발표되기도 하였다.

본 논문에서는 풀브릿지 방식의 2상 인버터를 제안하였고, 따라서 2상 동기전동기가 중소용량의 고성능 서보제어 분야 및 모바일 로봇용 일체형 액츄에이터로서 적용할 수 있는 가능성을 보이기 위해 2상 동기 전동기를 제작 및 검증을 하였다.

2. 일체형 액츄에이터(Wheel-in-Actuator)

일체형 액츄에이터는 이동로봇의 내부구조구성 중 상당한 부분을 차지하는 동력전달 메커니즘인 구동모터, 드라이브, 브레이크, 센서 및 바퀴가 일체화되어 있기 때문에 적용하고자 하는 이동로봇의 내부구조를 단순화시킬 수 있으며 이동로봇을 구동하는 바퀴에 직접 전달되는 감속기 없는 직접구동(Direct Drive) 방식이기 때문에, 기존의 이동로봇에 사용되는 동력전달 메커니즘에 비해 동력전달효율을 극대화할 수 있다. 또한,



그림 1 일체형 액츄에이터 구성
Fig 1 Structure of Wheel in actuator

3. 2상 PMSM의 설계

이동로봇 플랫폼의 이동속도가 10km/h를 만족하기 위해서는 액츄에이터의 휠 외경을 $\varnothing 220$ 으로 하였을 경우 모터 회전속도가 242rpm 이상이 되어야 목표치의 이동속도에 도달할 수 있으므로, 최대 토크시의 모터 속도를 270rpm으로 선정하였다. 그리고 모터의 최대 회전수를 500rpm까지 구동 가능하도록 설계하였다. 극수 및 슬롯 수는 유기전압 파형이 정현파에 가깝게 하기 위하여 20극 24슬롯으로 설계를 하였고, 회전자 구조는 출력을 키우기 위하여 외전형 구조로 설계를 하였다. 분포 권방식에서는 고정자 권선이 몇 개의 슬롯에 걸쳐서 감겨져 있어 권선의 축 방향으로의 코일 엔드 길이가 길어지는 단점이

있다. 이러한 점에 대하여 이 일체형 엑츄에이터의 권선방식은 그림 2와 같이 분할코어에 정렬권선 방식으로 감겨져 있어 슬롯 잠적률이 높으며, 코일 엔드부의 길이가 짧아져 동손을 줄일 수 있는 집중권 방식을 채택하였으며, 회전자계를 형성하기 위하여 A상, B상을 전기각으로 90도씩 배치하였다.

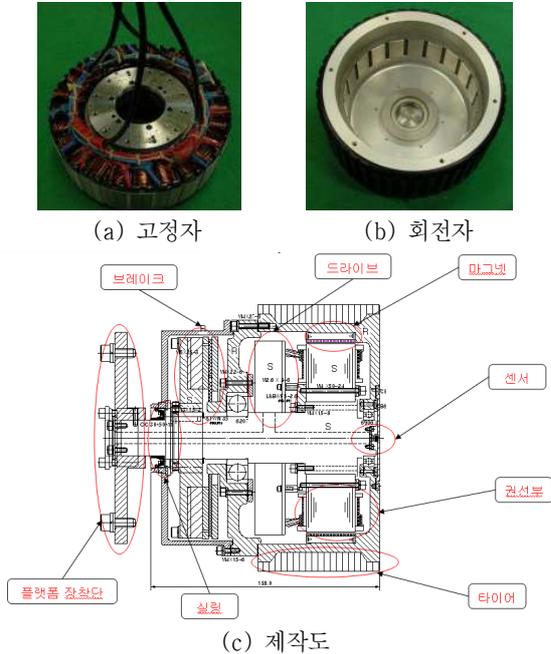


그림 2 2상 SPMSM의 구성
Fig 2 Structure of 2-phase SPMSM

4. 2상 풀브리지 인버터

직류 링크와 6개의 스위칭 소자로 구성되는 3상 인버터와는 달리 2상 동기전동기를 구동하기 위한 2-레그 2상 인버터 시스템은 4개의 스위칭 소자를 사용하여 풀 브릿지 방식으로 구성된다. 2상 인버터에서 각 상의 출력전압의 기본 파형은 크기가 같고 90도의 위상차를 가지는 2상 대칭이라 할 수 있다.^[2]

여기서, 2상 인버터 4개의 스위치의 턴온 또는 턴오프에 따라 4개의 스위칭 상태(switching state)가 존재한다. 이러한 스위칭 상태의 조합에 의해 그림 3과 같이 4개의 전압벡터는 3상과는 다르게 정사각형을 이루며 전압벡터 내에서 선형전압 제어영역의 최대 궤적의 크기는 직류링크전압이다.

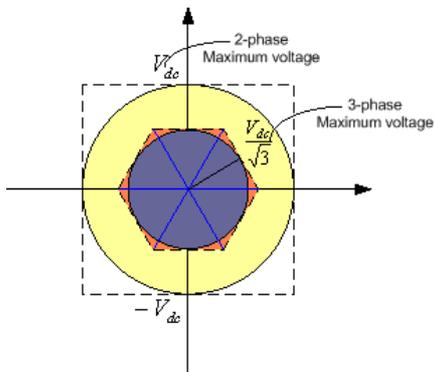


그림 3 2상과 3상의 출력 전압 비교
Fig 3 Comparison of 2-phase and 3-phase output voltage

5. 시뮬레이션 및 실험결과

시뮬레이션은 Mathwork사의 Matlab/Simulink tool을 사용하였고 시뮬레이션 및 실험에 사용한 모터의 파라미터는 표 1과 같다.

표 1 2상 SPMSM의 파라미터와 정격
Table 1 Parameters and ratings of two-phase induction motor

정격 출력	850[W]	
정격 전압	24[V]	
극수	20[pole]	
최대토크	30[Nm]	
최대전류	60[A]	
회전 속도	최대토크 시	270[rpm]
	최대속도 시	500[rpm]
유기전압정수	31.794[Vrms.LL/krpm]	
토크정수	0.51[Nm/Arms]	
저항	0.055[Ω]	
인덕턴스	상인덕턴스	0.438[mH]
	Ld	0.4422[mH]
	Lq	0.4405[mH]

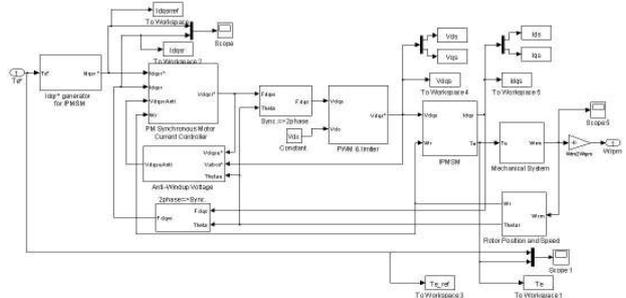


그림 4 2상 영구자석형 동기모터 및 제어 Matlab/Simulink 모델
Fig 4 Matlab/Simulink model of 2-phase PMSM and control

2상 영구자석 동기모터의 등가회로 모델을 바탕으로 Matlab/Simulink용 시뮬레이션 모델을 그림 4와 같이 구현하였다.

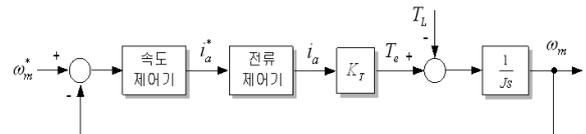


그림 5 2상 SPMSM의 제어 블록도
Fig 5 control block diagram of 2-phase SPMSM

2상 동기전동기의 속도제어 알고리즘을 블록도로 나타내면 그림 5와 같다. 먼저 기준 속도 레퍼런스가 주어지면 이는 전동기의 회전축의 엔코더로부터 측정된 실제속도와 비교되어 토크를 발생하기 위한 q축 기준전류를 발생한다. 여기서 속도제어기, 전류제어기 등의 오차 보상에 PI 제어방식을 사용한다.

시스템의 주요 항목을 검증하기 위하여 설계한 2상 영구자석 동기모터 제어보드의 주요 특성에 대한 검증을 위하여 MATLAB/SIMULINK 시뮬레이션을 수행하였다

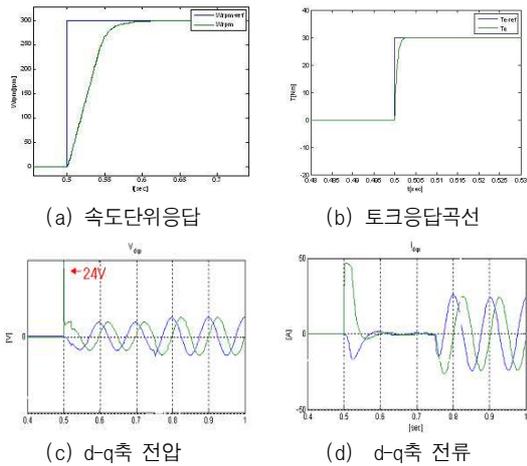


그림6 시뮬레이션 결과
Fig 6 simulation result

그림 6(a)는 속도지령 300[rpm]에 의해 기준값을 따라 속도가 안정되어 가는 모습을 보여주고 있고, 그림 6(b)는 최대토크인 30[Nm]를 따라 잘 추종하는 것을 보여주고 있다. 그림6(c)와 그림6(d)는 d-q축 전압과 전류를 각각 보여주고 있다.

본 연구에서는 2상 SPMSM 및 2상 인버터의 시제작품(prototype)을 제작하고 그 성능 시험을 실시한 결과를 제시하였다. 실험에 사용한 2상 SPMSM의 사양은 시뮬레이션에서 사용한 사양과 같다. 실험에 사용한 제어기는 TI사(Texas Instruments Inc.)의 DSP인 TMS302F2808를 사용하였다.

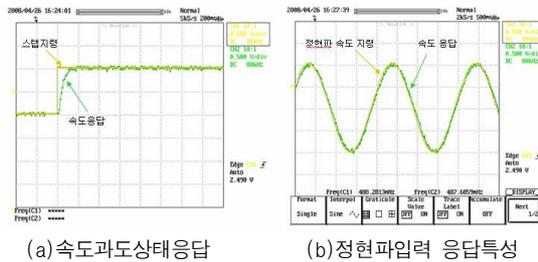


그림7 실험 결과
Fig 7 Experimental result

그림 7(a)는 무부하에서 300[rpm]으로 속도지령으로 시동할 때 나타나는 속도응답에 대한 실험 파형을 보여주고 있다. 실험의 결과는 그림 6(a)의 시뮬레이션 파형과 거의 같다. 그림 7(b)는 무부하에서 속도지령을 정현파형 속도지령으로 운전할 때 나타나는 응답특성을 보여주고 있다.

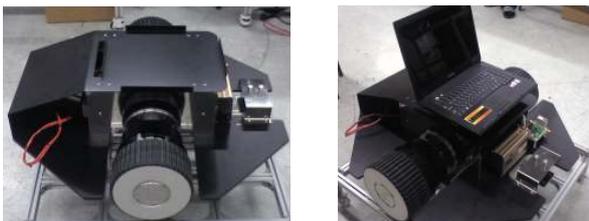


그림 8 테스트 플랫폼 제작
Fig 8 schematic structure

6. 결론

본 논문에서는 모바일 이동 로봇용 구동장치를 개발하였다. 제어 알고리즘을 위하여 먼저 PMSM의 시스템 모델링과 특성을 분석하였고, 2상 동기전동기를 구동하기 위한 폴브릿지 방식의 2상 인버터를 제안하였다. 3상 인버터와는 달리 2상 인버터의 높은 전압 이용률을 비교 설명하였고, 이를 2상 영구자석형 동기 전동기에 적용하여 모바일 이동 로봇용 액츄에이터 구동드라이브를 시험하여 시뮬레이션과 실제 시험이 결과가 거의 일치함을 보여주고 있다.

이 논문은 2007년도 지식경제부에서 시행한 부품소재기술 개발사업의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다..

참고 문헌

- [1] 이동우, 이광운, 유지운, “표면부착형 영구자석 동기전동기의 전압 위상 제어”, 전력전자학회 추계학술대회 논문집, pp. 1-3, 2007. 11.
- [2] 장도현, 조영훈, “2상 유도전동기 구동 2상 인버터의 벡터 제어”, 전력전자학회 논문지 제12권 제4호, pp. 310-317, 2007.8.