

로봇관절용 BLAC구동 PMSM 모터의 기본 설계 및 특성 해석

이병삼*, 이해석**, 정수진*
엘지인노텍

Design and Analysis of BLAC drive PMSM Motor in the Robot Joints

Sam-Byung Lee, Hea-Seok Lee, Soo-Jun Jung
LG Innotek

Abstract - 미래사회의 기술적 혁신을 이끌 것으로 생각되는 로봇산업에 대한 관심이 증대되고 있으며, 최근에 많은 기술 개발과 개선이 이루어지고 있다. 이러한 경향은 점차 확대될 것으로 예상되며 전기자동차와 유사한 신성장 동력으로 성장할 것이다. 그러나, 로봇의 핵심 부품인 모터와 같은 구동계는 타분야에 비하여 기술적 혁신 및 관심을 끌지 못하고 있다. 앞으로 로봇산업이 확대 성장하여 산업용 로봇에서 가정용 로봇으로 진화하고, 로봇의 기능적인 측면이 보행, 리닝, 점프 등의 고성능을 구현하기 위해서는 각종 관절을 구동하는 역할을 담당하는 모터 및 동력전달 알고리즘의 연구 개발이 더욱 활발히 이루어져야 할 것이다. 특히, 인간과 유사한 로봇을 구현하기 위하여 보다 Flat하고 가볍고 출력밀도가 높은 새로운 구동장치의 필요성이 증대될 것이다. 본 논문에서는 산업노동지원을 위한 착용식 근력증강 로봇에 적용하는 모터 개발을 목적으로 적합한 구동계 타입을 선정하고, 요구 성능을 만족하는 전동기를 전자계 해석을 통하여 설계하고, 시제품 제작 및 평가를 통하여 해석 결과를 검증하였다.

1. 서 론

산업노동지원을 위한 착용식 근력증강 로봇이란, 인간의 힘을 증폭 또는 지원하기 위하여 신체의 외부에 부착하여 작업을 수행할 수 있는 외골격 형태의 로봇을 말하는 것이다. 착용자는 작은 힘으로 구동장치에서 발생하는 큰 힘을 제어할 수 있어 무거운 물체를 작은 힘으로 쉽게 들어 올리거나, 들어 올린 상태에서 보행속도 이상으로 걸을 수 있다. 본 논문의 목적은 상지부 및 하지부에 적합한 구동 메카니즘을 설계하고 시스템 요구 사양에 만족하는 모터를 설계 및 제작하여 성능을 평가하는 것이다. 본 과제를 수행하기 위하여 적합한 모터 타입을 선정하고, 유한요소법을 이용한 전자계 해석을 통하여 모터를 설계하고 제작상의 편의성 및 양산성을 고려한 기구구조를 설계하며 모터 단품의 성능을 평가를 통하여 시제품을 검증하게 된다.

2. 본 론

2.1 로봇 관절용 모터 Type 선정 및 목표 사양

산업노동지원을 위한 착용식 근력증강 로봇 관절에 적합한 모터 타입을 선정하기 위하여 현재 로봇 개발에 많이 적용하고 있는 Maxon Motor社 250W급 Slotless BLDC Motor와 Kollmorgen社 Motor를 기구적 구조 및 전기적 성능을 검토하고, 최종 목표 달성을 위한 최적의 구동 메카니즘을 선정하는 기초 자료로 활용하였다. 상지부 및 하지부의 각 관절에서 요구되는 구조 형상 및 보행속도 등을 고려하여 주요 요구 성능을 만족하는 모터사양을 결정하였다.

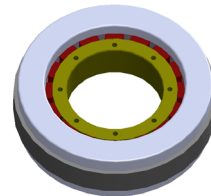
2.1.1 모터 Type 선정

Maxon Motor社의 Slotless Motor의 경우 고정자에 슬롯 구조가 없기 때문에 자기저항에 의한 코깅토크가 구조적으로 없다. 따라서 진동 및 소음에 유리한 구조이며 정밀구동에 유리점이 있다. 그러나 축방향 길이가 길기 때문에 로봇관절에 적용할 경우 부피가 커지면서 상지부 및 하지부의 구조설계가 어려워지는 단점이 있다.



〈그림 1〉 Slotless BLDC Motor

Kollmorgen社의 Flat Type BLDC Motor의 경우 자석결합형태가 회전자 코어 표면에 부착하는 표면부착형 영구자석형 모터이다. 권선은 이중권선하고 홀센서를 통하여 자석의 위치를 센싱하고 각각의 구형과 전류를 인가하여 회전하게 되는 구조이다. 정밀제어를 위해서 외부엔코더 추가가 필요하다. Flat Type으로 로봇관절의 부피를 감소시킬 수 있으므로 적합한 구조이다. 그러나, 높은 가격 및 긴 납기 및 하이징 설계의 어려움으로 양산 대응에 문제가 발생할 수 있다.



〈그림 2〉 Flat Type Motor

상지부 및 하지부의 각 관절의 독립 모듈로 구성되고, 고출력을 만족하면서 각 관절부의 전체부피를 최소화하기 위하여 박형모터가 요구되고 정밀제어를 위한 코깅토크 및 토크 리플 성분을 최소화 할 수 있는 구조의 모터가 요구된다. 따라서, 본 과제에서 표면부착 영구자석형 모터를 선정하고 축방향 길이 줄이는 구조 설계를 진행을 하였다.

2.1.2 목표 사양

상지부 및 하지부 시스템에서 요구되는 토크 및 회전수를 만족하면서 구조적으로 박형 표면부착 영구자석형 모터 사양을 아래와 같이 설정하였다.

〈표 1〉 로봇관절용 모터 사양(목표)

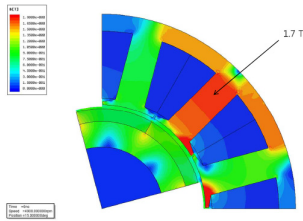
항 목	사 양
Rated Voltage	48 V
Rated Speed	4900 RPM
Rated Torque	0.95 Nm
Max.Torque[10sec]	2.55 Nm
Cogging Torque	0.02 Nm
Stator Outer Dim.	95 mm
Stack Length	15 mm

2.2 SPM 모터 전자계 해석

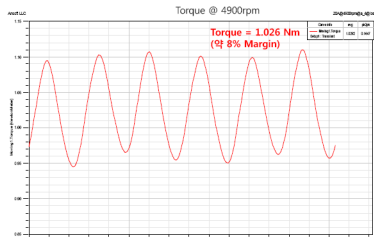
목표사양을 만족하는 코아형상, 권선사양 및 영구자석 등에 대한 설계를 진행하였다. 외부전원에서 공급되는 48V가 100% 모터에 공급되는 것이 아니라 인버터 스위칭 손실을 고려하여 최종 모터에 공급되는 상전압은 43.2V로 설정한다. 영구자석 전동기는 계자 자속을 외부 전원에 의존하지 않고 회전자의 영구자석에 의해 공급되기 때문에 효율 및 출력 밀도가 타 전동기에 비해 월등히 높다. 특히 본 과제는 박형 구조를 요구하기 때문에 에너지 밀도가 높은 NdFeB와 같은 희토류 계열 자석을 사용하여 고효율화 및 소형화를 실현할 수 있다. 동작환경 및 포화자속

밀도 등의 고려하여 최적의 영구자석을 선정하였다.

전자계 해석을 통하여 무부하시 역기전력, 코깅토크, 코아 자기포화 등 해석하고, 정격부하 및 최대부하시의 모터특성을 해석하여 본 과제에 부합하는 최적의 모터를 설계한다. 슬롯의 형상, 영구자석의 형상, 권선사양 등을 변수로 반복 해석을 통하여 최종 결과를 도출 하였다.



〈그림 3〉 자속밀도 (정격구동시)



〈그림 4〉 정격부하 토크특성

각 설계 변수에 대한 검토를 통하여 아래와 같은 결과를 도출하였다. 하지부(현대로템)의 요구 사양인 토크 및 회전수를 만족하였으며, 토크는 Margin 약 5~10%정도 가질 수 있도록 설계를 진행하였다.

〈표 2〉 전자계 해석 결과

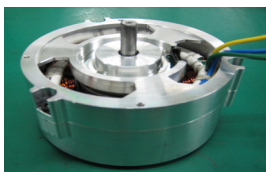
Specification	Motor2
Rated Speed	4900RPM
Rated Torque	1.026Nm
Max.Torque[10sec]	2.67Nm
Cogging Torque	0.015Nm
Stator Outer Dim.	95mm
Stack Length	15mm

2.3 시작품 제작 및 평가

로봇관절용 모터는 축방향 길이가 짧은 박형 Type으로 전자계 해석을 통하여 구체적인 형상에 대한 설계를 완료하였고, 이것을 바탕으로 기구설계 및 제작을 하였다.

2.3.1 시작품 제작

양산성을 고려하여 분할 코아 및 치집중 권선법을 적용하여 작업을 용이하고, 권선 Fill Factor를 높일 수 있기 때문에 단위체 적당 출력을 최대로 활용할 수 있게 하였다. 주요 부품 및 조립 지그를 설계 제작하여 시제품을 완성하였다.

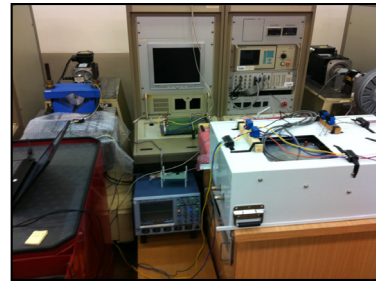


〈그림 5〉 로봇관절용 모터 시제품

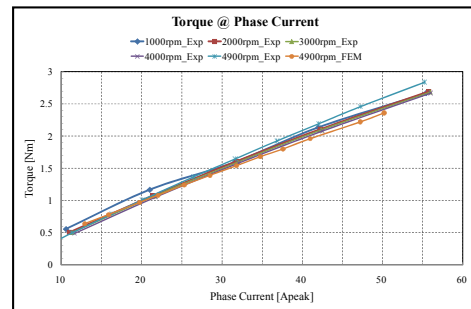
2.3.2 성능 평가

전자계 해석을 통한 결과의 검증을 위하여 성능평가용 Dynamo를 이용하여 모터평가를 실시하였다. 정격속도에서의 토크는

0.97Nm로 유한요소 해석결과보다는 다소 낮게 나왔으나 목표사양은 만족하였고, 최대토크는 2.838Nm로 해석결과보다 다소 높에 측정되었다. 연속정격시 포화온도는 60도 정도로 로봇관절에 적용하기에 무리가 없을 것으로 판단된다.



〈그림 5〉 성능평가용 Dynamo



〈그림 6〉 성능평가 실측 결과

3. 결 론

산업노동지원을 위한 착용식 근력증강 로봇에 적합한 관절용 모터 타입 선정하고 주요 요구 사양인 토크와 회전수를 만족하는 모터를 전자계 해석을 통하여 요구 사양을 만족하는 모터 설계 및 제작하였다. 모터 단품 평가를 통하여 전자계 설계 결과를 검증 하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] J. R. HENDERSHOT, TJE MILLER, "Design of Brushless Permanent-Magnet Motors" 1994.
- [2] 진창성, "건인용 BLDC 구동 전동기 설계 및 제어 성능 향상에 관한 연구", 한양대학교 대학교, 2011
- [3] H. Nam, K. H. Ha, J. J. Lee, J. P. Hong, and G. H. Kang, "study on iron loss analysis method considering the harmonics of the flux density waveform using iron loss curves tested on epstein samples," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 39, no. 3, pt. 1, pp. 1472 - 475, May 2003.