

로봇 관절용 증공모터 설계 및 특성 해석

김경수*, 이성호*, 차현록*, 이규석*, 박병운*,
한국생산기술연구원 호남권 기술지원본부*

Design and Characteristic analysis of Hollow Type Motors for Robot Arms

Kyung-su Kim*, Sung-ho Lee*, Hyun-rok Cha*, Kyu-suk Lee*, Byung-woon Park*
Korea Institute of Industrial Technology Honam Technology Service Division*

Abstract - 본 논문은 로봇관절 구동 및 제어에 활용될 증공모터의 설계 및 특성해석에 대해 연구하였다. 로봇관절에 사용될 증공모터의 경우 고 토크출력이 요구될 뿐만 아니라, 저속에서 제어 및 구동 신뢰성이 높은 운전특성이 요구된다. 또한 로봇 관절에 활용하기 위하여 배선처리가 간편한 증공타입의 구조가 요구된다. 따라서 우리는 로봇 구동 및 경량화가 가능하도록 유성기어와 결합이 가능한 외전형 타입의 영구자석 동기전동기의 설계 및 특성해석을 하였다. 먼저 로봇 관절에 적합하도록 FEA 기법을 이용하여 설계하였으며, 실제 제작기 모델을 제작하여 성능실험을 통해 제안된 모터의 특성을 분석하였다.

1. 서 론

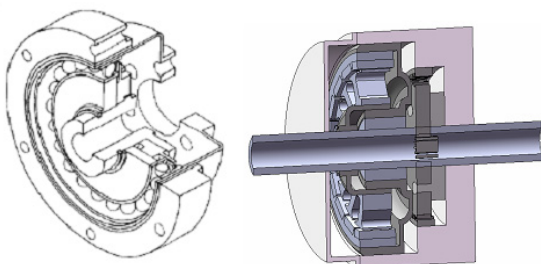
최근 인간형 로봇 산업의 성장에 따라 이에 따른 관심이 높아지고 있다. 최근 로봇 기기 및 제어 기술의 향상에 따라 다양한 형태의 로봇이 개발되고 있다.[1] 그 중 전체 로봇 시스템의 모션(motion) 제어를 최적화시키기 위한 각종 제어법 및 구동 액추에이터 등이 개발되고 있다. 특히 로봇의 구동 및 제어의 핵심 부품인 관절용 구동 액추에이터의 고 토크 정밀 제어에 대한 기술개발이 요구되고 있다.

본 논문에서는 로봇관절에 적합한 증공타입의 구동 모듈 설계 및 특성 해석에 대해 연구하였다. 이를 위해 로봇관절용 200W급 매입형 영구자석 동기전동기 모델을 설계하여 구동모듈에 적용하였으며, 실제 제작된 모델을 제작 및 테스트를 통해 특성을 비교 분석하였다. 이를 통해 로봇용 구동모듈의 설계 방안에 대해 논하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 제안된 로봇 관절 구동 모듈

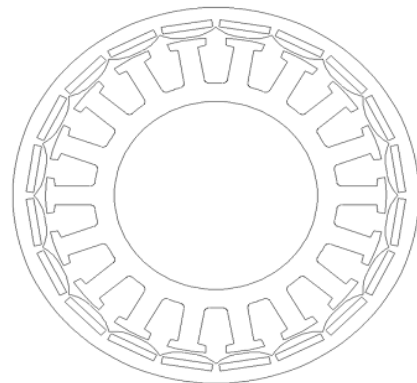
그림 1은 본 논문에서 제안한 로봇관절용 증공모터의 구조를 나타내고 있다. 로봇 관절은 다축 이동 및 다관절 운동을 위하여 운동 축 방향과 교차형태(twisted), 모서리에서 휘어진 형태로 동작이 가능할 뿐만 아니라 자유롭게 구동 가능한 형태로 개발이 이뤄져야 한다. 이를 고려하여 로봇 관절 구동 모듈은 횡축 이동이 가능한 증공타입으로 설계되었으며, 전체 시스템의 고출력, 고효율화를 위해 다극형태의 외전형 영구자석 동기전동기 형태로 설계되었다. 또한 효과적인 구동 및 경량화를 위하여 유성 감속기를 설계 및 제작하였으며, 이를 적용하여 로봇 관절에 적합한 저속, 고토크화를 구현하고자 하였다. 입력 전원은 로봇에 적합하도록 24V화 하였으며, 전체 시스템의 출력 및 전체 부하를 고려하여 구동 모터의 정격출력은 100W로 설계하였다. 이를 위해 전체 모터의 성능 및 구조적 결합이 가능하도록 설계하였다.



〈그림 1〉 제안된 로봇 관절용 구동 모듈

2.2. 로봇 관절용 증공모터 설계 사양

그림 2는 본 논문에서 적용할 로봇용 증공모터 설계 모델의 형태를 나타내고 있다. 형태는 매입형 영구자석 동기전동기로서 이는 회전체에 영구자석을 삽입함으로써 마그네틱 토크와 톨러턴스 토크를 모두 활용할 수 있어서 출력 밀도가 높아지는 장점이 있어서 고 토크출력이 필요한 로봇관절에 적합하다. 또한 회전체에 영구자석이 삽입됨으로 기계적 안정성을 확보할 수 있을 뿐만 아니라 유효 공극이 작아짐에 따라 전기자 반작용 효과가 현저하게 나타날 수 있다. 또한 회전 시 나타나는 역기전력의 THD 저감 및 모터 효율 상승 및 토크 리플 저감을 위해 형상설계를 진행하였다. 따라서 우리는 로봇 관절 구동에 필요한 사양에 적합하도록 설계사양을 도출하였다. 표 1은 이렇게 제안된 로봇용 증공모터의 사양을 정리한 값이다.



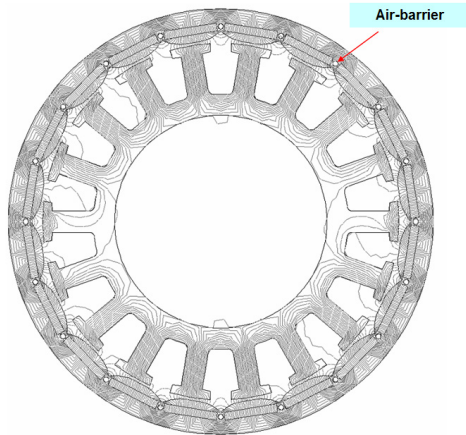
〈그림 2〉 제안된 로봇용 증공모터 모델

〈표 1〉 제안된 로봇용 증공모터 사양

항목	값
입력 전압	24V
전체 외경	100mm
높이	50mm
정격 출력	200W
정격 속도	1,000 rpm
기어 비	1:50
극수 / 슬롯수	20P / 18S
코어 재질	S08
마그넷 재질	Nd-38

2.3 로봇용 증공모터 설계 결과

그림 3은 제안된 로봇용 증공모터의 자속밀도 분포를 나타내고 있다. 제안된 사양에 적합한 로봇용 증공모터를 설계하기 위해 FEA기법을 이용하였으며, 효과적인 자속밀도 분포를 위하여 극과 극 사이에 Air-barrier를 두어 설계하였다. 이는 극간에 누설자속을 줄여 모터 시스템의 효율 상승 및 토크리플을 저감시키기 위해 적용하였으며, 이를 고려한 설계 결과를 표 2에 정리하였다.



〈그림 3〉 제안된 로봇용 증공모터 자속밀도 분포

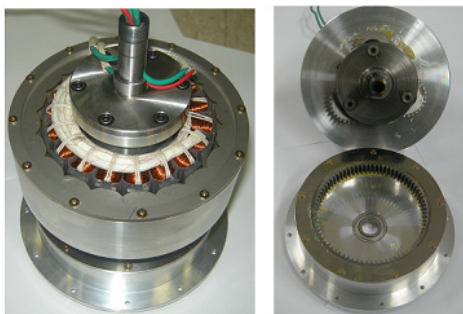
〈표 2〉 Magnet 형태 변경에 따른 모터 설계 결과

설계결과	기존 모델	Air-Barrier 적용 모델
정격속도 (RPM)	1,000rpm	
토크 (Nm)	0.982[Nm]	0.976[Nm]
효율(%)	85.96[%]	86.71[%]
출력(W)	102.9W	101.5W
Cogging Torque(Nm)	0.0252[Nm]	0.0252[Nm]
Torque ripple (%)	8.349[%]	7.464[%]

로봇용 증공모터 설계 결과 Air-barrier를 적용하여 극간 누설자속이 저감되어 모터 효율의 향상을 가져올 수 있었다. Air-barrier를 적용 시 정격 출력 및 토크는 큰 차이 없었지만 효율이 85.96%에서 86.71%로의 상승됨을 알 수 있었다. 또한 Air-barrier 적용 시 토크 리플이 약 8.34%에서 7.46%의 저감을 얻을 수 있었다. 이는 로봇용 증공모터의 효과적인 제어 및 토크 리플 저감을 위해서 Air-barrier 모델이 보다 더 유리함을 알 수 있었으며, 실제 제작을 통해 설계 값의 타당성을 검증하고자 하였다.

2.4 실험 및 측정 결과

그림. 4는 제안된 모델을 적용한 로봇관절용 구동 모듈의 Prototype 모델이다. 모터 측정 장비를 이용하여 정격 출력상태에서의 효율 및 모터 특성을 실험하였으며, 코깅토크 측정 장비를 통해 실제 제작된 모델의 설계 값과 비교 분석하였다. 비교 결과, 설계 값과 측정값이 매우 유사하게 나타났으며, 정격출력에도 도달하여 우리가 원하고자 하는 로봇 관절용 증공모터 설계 값의 타당성을 얻을 수 있었다. 또한 부하특성을 통해 로봇관절용 증공모터에 적용 가능함을 확인 할 수 있었다.



(a) (b)
〈그림 5〉 로봇 관절 구동 모터 prototype 모델
(a) 구동 모터 (b) 유성 기어

〈표 3〉Prototype 모델 실제 측정 결과

항목	측정결과
출력	103.7 W
속도	1000 rpm
토크	0.981 Nm
효율	85.12 %
토크 리플	7.921 %
코깅토크	0.0291 Nm

3. 결 론

본 논문은 로봇관절 구동 및 제어에 활용될 증공모터의 설계 및 특성 해석에 대해 연구하였다. 제안된 모델은 출력 토크를 낼 수 있는 모터와 이를 위해 높은 관성력을 얻을 수 있는 외전형 타입의 모터와 고 토크를 낼 수 있을 뿐만 아니라, 효과적인 구동 및 경량화가 가능하도록 유성기어가 결합된 형태의 구동 모듈을 설계 및 제작하여 그 특성을 비교 분석하였다. 또한 효과적인 자속밀도 분포를 위하여 극간 Air-barrier를 적용한 모델을 적용하여 그 설계 결과 값을 비교 분석하였다.

설계 결과 Air-barrier 형태를 가지는 모델은 출력의 변화는 거의 없었지만 효율상승 및 토크 리플의 저감을 알 수 있어서 보다 더 유리함을 알 수 있었다. 또한 prototype 모델을 제작하여 모터 성능 측정 장비를 통해 설계 값과 실측값을 비교 분석하여 설계의 타당성을 검증하였다. 향후 본 논문에서 제안된 구동모터를 바탕으로 로봇용 증공관절 모듈 개발에 적용이 가능하리라 예상된다.

[참 고 문 헌]

- [1] J. Butterfat, M. Grebenstin, H. liu and G. Hirzinger, "DLR-Hand II: Next Generation of a dextrous robot hand" in IEEE International Conference on Robotics and Automation, 20001
- [2] M. Spong, "Modeling and control of elastic joint robots", IEEE Journal Robotics and Automation ,Vol. 3, pp. 291-300, 1987