

서비스 로봇관절용 외전형 BLDC 모터 특성해석 연구

김영균*, 안준선*, 손석금*, 박종찬*, 유세현*, 정인성**
 오산대학교*, 전자부품연구원**

Characteristics Analysis of Outer Rotor type BLDC Motor for Service Robot Arm

김영균*, 안준선*, 손석금*, 박종찬*, 유세현*, 정인성**
 오산대학교*, 전자부품연구원**

Abstract - This paper presents characteristics Analysis of Outer Rotor type BLDC Motor. To reduce the cogging torque and to make the high back EMF constant of the motor, Not only magnetization directions of a permanent magnet are investigated, but also a tooth chamfer of a stator is optimized. The design and analysis results are verified with experimental results.

1. 서 론

서비스 로봇용 구동시스템에 있어 박형 외전형 모터는 발생 토크를 증대하고, 로봇 구동출력축의 최종적인 동력을 제공하는 부품(기술)로서, 일반적인 범용성을 갖는 내전형 BLDC 모터에 비해서 축 방향 길이가 짧으며, 고 정밀, 고정음화 및 높은 전달효율을 갖는 정밀 구동 부품이라고 할 수 있다.

서비스 로봇관절용 구동모듈은 로봇시스템에서 차지하는 부피/중량을 최소화 시켜야 되고, 고토크를 가져야 되므로, 내전형 모터 보다는 박형 구조의 외전형 모터가 적용된다. 박형의 외전형 고정밀 BLDC 모터의 경우 출력특성 및 정음화 성능을 좌우하는 설계인자가 매우 복잡하며, 영구자석 재질 선정 및 작자, 전기강판 재질 선정 및 포화특성 해석, 권선기술 및 축계설계등의 모터 자기회로 설계 및 제작기술 등을 복합적으로 고려해야 한다 [1]-[3].

본 논문에서는 서비스 로봇관절용 구동모듈로서 박형의 외전형 BLDC 모터의 적용가능성을 살펴보기 위해서, 공급전압 24V 외경 43Φ 급 외전형 BLDC 모터를 초기설계하고 그 특성을 분석하였다. 끝으로, 설계결과 및 특성해석결과는 실험결과와 비교하여 타당성을 검증하였다.

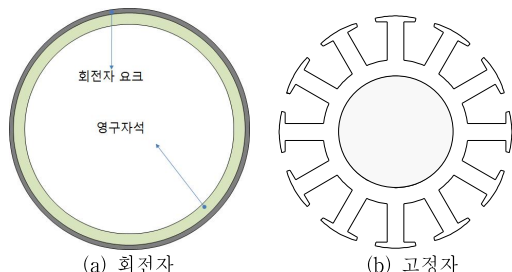
2. 외전형 BLDC 모터 특성해석 및 설계

2.1 설계 사항

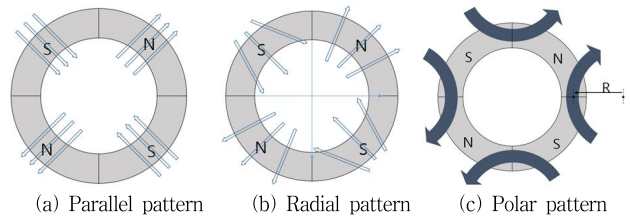
본 논문에서는 서비스 로봇의 관절구동에 사용되는 외전형 BLDC 모터를 설계하고 그 특성을 해석하였다. 설계 및 해석대상 모터의 단면은 그림 1에 나타내었으며, 16극 12슬롯 구조의 링마그넷을 사용하는 모터이다. 입력전압은 24V이며, 구동방식은 120도 도통의 구형과 구동방식을 택하였다. 링마그넷을 사용하는 경우, 영구자석의 자화방향을 선택함에 있어서, Parallel 방향과 Radial 방향에 추가하여 극이방성(Polar pattern)을 검토할 수 있다 [1]-[3].

2.2 영구자석의 자화방향 검토

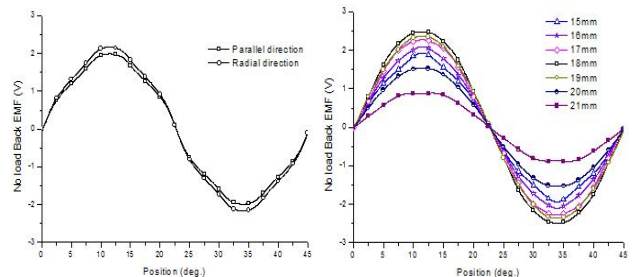
본 논문에서는 코깅토크를 저감할 수 있는 영구자석 자화방향을 검토하기 위해서 사용한 자화방향을 그림 2에 나타내었다. 그림에 나타낸바와 같이 Parallel pattern, Radial pattern 및 Polar pattern 등 3가지 영구자석 자화패턴을 검토하였으며, 특히 Polar pattern의 경우에는 그림 2(c)에 정의한 반경 R의 변화에 따른 모터의 무부하 특성변화를 분석하였다.



(a) 회전자 (b) 고정자
〈그림 1〉 설계 및 해석대상 외전형 BLDC 모터 단면도



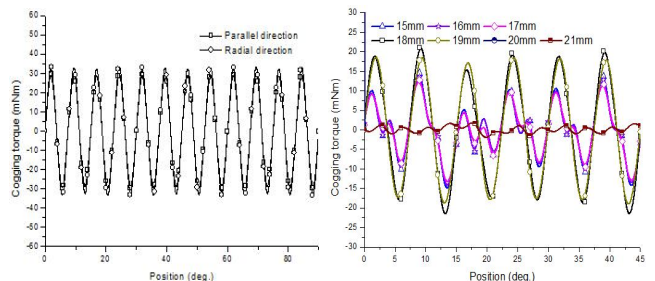
(a) Parallel pattern (b) Radial pattern (c) Polar pattern
〈그림 2〉 영구자석 자화방향 패턴



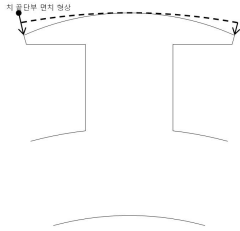
(a) Parallel and Radial pattern (b) Polar pattern
〈그림 3〉 초기설계 모델의 무부하 역기전압 분포특성

이때 모터의 무부하역기전압의 정현적 분포와 코깅토크를 최소화할 수 있는 영구자석의 자화방향을 선정하기로 하였다. 향후 로봇응용에 있어서 180도 도통의 정현과구동을 고려하기 위해서 무부하 역기전압 분포를 정현적으로 가져가기 위함이다.

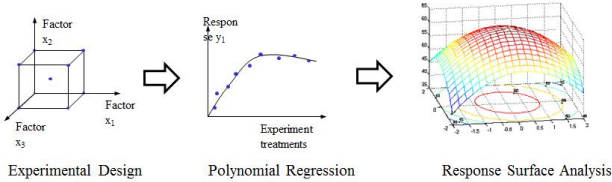
그림 3에 영구자석 자화방향에 따른 무부하 역기전압 분포특성 해석 결과를 나타내었다. 영구자석의 자화분포가 Parallel pattern인 경우와, Radial pattern인 경우에는 무부하 역기전압 분포에 5고조파와 7고조파가 비교적 크게 실려 있으며, 역기전압 분포의 형상 또한 유사하게 나타났다. 이는 외전형 모터로서 영구자석이 외곽에 위치에 있기 때문인 것으로 분석된다. 반면에, Polar pattern의 경우에는 반경 R을 15mm에서 21mm까지 증가시켰을 때, 역기전압의 크기가 점차 증가하고 정현적인 분포에 가까워지다가, 반경 R 18mm를 정점으로 전압의 분포에 고조파가 함유되며, 20mm 지점부터는 그 크기가 급격하게 감소된다. 그림 4에는 초기설계 모델의 3가지 자화방향에 대한 코깅토크 특성해석 결과를 나타내었다. 자화분포가 Parallel pattern인 경우와, Radial pattern인 경우에는 코깅토크 크기가 유사하며, 비교적 크게 분석되었다. Polar pattern의 경우에는 반경 R을 15mm에서 21mm까지 증가시켰을 때, 코깅토크의 크기가 점점 감소하는 경향으로 분석되었다.



(a) Parallel and Radial pattern (b) Polar pattern
〈그림 4〉 초기설계 모델의 코깅토크 특성



〈그림 5〉 Chamfer 형상 정의



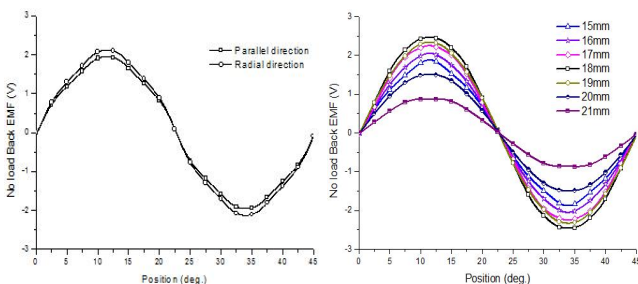
〈그림 6〉 반응표면법을 이용한 최적 설계 프로세스

2.2 코깅토크 저감을 위한 Chamfer 사이즈 설계

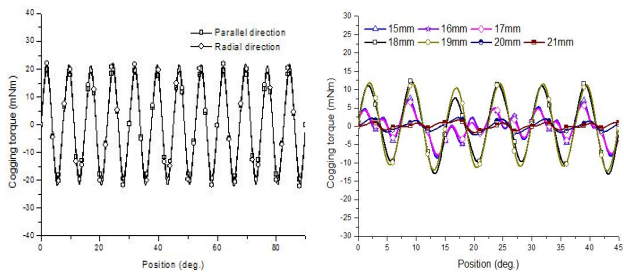
영구자석의 자화방향을 Polar pattern으로 했을 경우 코깅토크를 현저하게 줄일 수 있지만, 무부하역기전압 또한 현저하게 감소하는 문제점이 있다. 따라서, 무부하 역기전압의 최대값을 2.0V 이상을 확보하면서 효과적으로 코깅토크를 줄이기 위해서, 본 논문에서는 추가적으로 고정자 치끝단부에 Chamfer를 부여하기로 하였다. Chamfer 사이즈 결정을 위한 변수정의는 그림 5에 나타내었다. 그리고 최적의 Chamfer 사이즈 결정을 위해서 그림 6에 나타낸 반응표면법을 이용하였다. 본 논문에서는 반응표면법을 이용한 최적의 Chamfer 사이즈 결정하는 과정은 생략하기로 하고 그 결과만 설명하기로 한다. 최적의 Chamfer 사이즈는 0.1mm로 결정하였다.

2.3 코깅토크 저감을 위한 Chamfer 사이즈 설계

코깅토크 저감설계는 앞서 언급한 바와같이 기본적으로 영구자석 자화방향을 모터의 무부하 역기전압은 샘플모터와 동등한 수준을 유지하면서, 코깅토크를 감소시키는 모델을 선택하였으며, 이에 추가적인 코깅토크 저감을 위해서 위에 그림에 나타낸것과 같이 고정자 치끝단부의 면치 0.11mm를 부여함으로써 설계된 전동기의 코깅토크는 샘플모터의 60% 정도수준으로 저감 하였다. 고정자 치끝단부의 면치 치수는 통계적 근사기법인 반응표면법을 이용하여, 모터의 토크 및 효율을 저하시키지 않고 코깅토크를 저감할 수 있는 적절한 값을 선정하였다. 이 고정자 치끝단부에 면치를 과도하게 부여하면, 공극의 자속밀도가 감소하게 되고 이는 역기전압을 감소시키는 요인이 되어 전동기의 토크 또는 효율이 저하될 수 있다.



(a) Parallel and Radial pattern (b) Polar pattern
〈그림 7〉 Chamfer 적용 모델의 무부하 역기전압 분포특성



(a) Parallel and Radial pattern (b) Polar pattern
〈그림 8〉 Chamfer 적용 모델의 코깅토크 특성

2.4 무부하시험 및 부하시험 결과

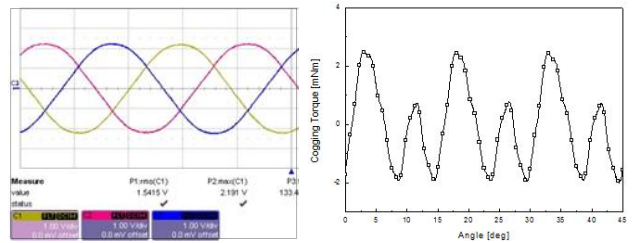
그림 9에 설계된 전동기의 무부하특성인, 무부하역기전압 및 코깅토크 특성을 측정된 결과를 나타내었다. 그리고 그림 10에는 부하시험을 위한 다이노모 시험세트를 나타내고 있으며, 모터구동은 120도 도통의 구형과 구동방식을 사용하였다. 그림 11에 토크변화에 따른 모터의 속도특성, 효율, 출력등 제반특성 시험결과를 나타내었다. 시험결과 토크 70mNm에서 속도 4522 rpm, 모터의 최대효율은 83.5%로 측정되었다.

3. 결 론

본 논문은 서비스 로봇관절용 외전형 BLDC 모터의 설계 및 특해석결과를 나타내었다. 외전형 BLDC 모터의 무부하 역기전압의 과형개선 및 코깅토크 저감을 위해서 영구자석 자화방향을 분석하고 극이방성방향을 선정하였다. 그리고 추가적으로 고정자 치끝단부에 Chamfer를 부여하여 코깅토크 저감에 따른 무부하 역기전압 감소를 최소화 하였다.

〔참 고 문 헌〕

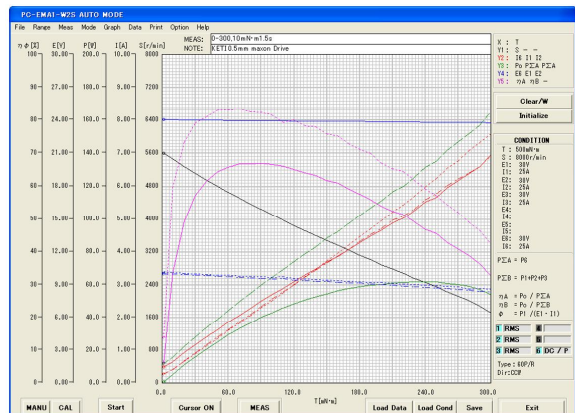
- [1] N. Bianchi, S. Bolognani, F. Luise "Analysis and Design of PM Brushless Motor for High-Speed Operations," IEEE Trans. Energy conversion, vol.20, no.3, pp.629-637, 2005.
- [2] D. Hanselman, "Brushless Permanent Magnet Motor Design," second edition, The writers' collective, 2003.
- [3] M. Markovic, P. Ragot, Y. Perriard, "Design optimization of a BLDG motor : a comparative analysis," IEMDC 2007, vol.2, pp.1520-1523, 2007.



(a) 무부하 역기전압 시험결과 (b) 코깅토크 측정결과
〈그림 9〉 무부하특성 시험결과



〈그림 10〉 부하특성 시험장치 세트



〈그림 11〉 부하시험결과