

공작기계 빌트인 스피들 주축용 영구자석 모터의 속도 제어에 따른 특성

박유섭, 이상민, 신덕웅
현대위아

Speed Control Characteristics of Built-in Spindle Motor according to Load Condition

Yu-Seop Park, Sang-Min Lee, Duck-Woong Shin
Hyundai Wia

ABSTRACT

본 논문에서는 26kW 매입형 영구자석형 동기식 모터를 적용한 빌트인 스피들 주축에 관한 내용을 다룬다. 적용된 모터는 코깅토크 및 토크리플 최소화를 위한 비균일 공극 및 W타입 영구자석 배치를 적용하고 있으며, 관련된 특성해석결과 및 제작모델의 부하조건에 따른 속도 제어 특성에 대하여 다룬다.

1. 서론

공작기계에 적용되는 스피들 주축은 동력전달방식에 따라 벨트타입, 기어타입, 직결타입, 빌트인타입으로 크게 구분될 수 있으며, 최근 정밀도 향상을 목적으로 고속영역에서 상대적으로 낮은 진동특성을 가지는 빌트인 스피들 주축에 대한 연구가 매우 활발히 진행되고 있다. 빌트인 스피들 주축에 적용되는 모터는 크게 동기식과 비동기식 모터로 구분되어질 수 있는데, 본 논문에서는 다루어지는 모터는 높은 에너지 밀도와 효율 특성을 가지는 매입형 영구자석 동기식 모터를 적용하였다. 잘 알려진 바와 같이 d축과 q축의 인덕턴스 차이에 의해 발생하는 릴럭턴스 토크를 이용하는 매입형 영구자석 모터는 표면부착형 모터와 비교하여 자석의 비산위험이 없고, 체적당 에너지 밀도가 크기 때문에, 자동차 구동모터 등에 널리 적용되고 있으며 코깅토크 및 토크리플 저감을 위한 연구가 매우 활발히 진행되고 있다. 이는 영구자석 배치에 따른 특성 비교^[1], 비균일 공극을 이용한 모터 성능 개선에 관련된 선행연구에서 확인할 수 있다. 본 논문에서도 유사한 목적을 위해 비균일 공극 방식을 채용하고, W타입 영구자석 배치를 적용한 모델을 설계 및 제작하였으며, 제안 모델의 속도제어시 부하조건에 따른 모터의 전류 특성을 제시하고자 한다.

2. 빌트인 스피들 주축용 매입형 영구자석 동기 모터의 속도제어에 따른 모터 특성 비교

2.1 시험모델

그림 1에서는 본 논문에서 다루어지는 빌트인 스피들 모터의 상세 형상 및 설계사양을 제시하고 있다. 제시된 모델

앞서 언급된 바와 같이 영구자석이 회전자 코어 내부에 삽입되는 매입형 타입으로, d축 인덕턴스와 q축 인덕턴스의 비율로 정의되는 돌극비를 최대화하여 넓은 운전영역을 확보한 모델이다. 전자기 설계단계에서 코깅 토크 최소화를 위해 극/슬롯 수 조합에 따른 특성해석을 수행한 바 있으며, 그 결과에 따라 극수는 4극, 슬롯수는 36으로 설계되었다. 더불어, 적용된 회로류 영구자석은 폭, 넓이, 두께 및 각도를 최적화한 W타입 배치를 적용하고, 회전자 코어 형상 설계를 통해 구현된 비균일 공극을 가지는 것이 특징이다. 빌트인 주축의 베어링은 고속 회전을 위해 오일/에어 윤활방식을 채용하고 있으며, 베어링과 모터는 오일에 의해 냉각된다.



구분	설계사양	구분	설계사양
정격출력	26kW	최대속도	16000rpm
정격토크	75Nm	정격전류	60A
정격속도	3300rpm	역기전압	85V

그림 1. 26kW 빌트인 스피들 모터 및 설계사양
Fig. 1. 26kW Built-in spindle motor and design specification

그림 2에서는 본 모터를 적용하여 구성된 빌트인 스피들 주축 성능시험장치를 제시하고 있으며, 속도에 따른 주축 출력과 효율을 측정할 수 있다. 표 1에서는 제시된 시험장치를 통해 측정된 빌트인 스피들 모터의 부하시험결과를 제시하고 있으며, 그림 1과 비교하여 설계사양과 비교적 잘 일치함을 확인할 수 있다. 여기서, 정격전류와 정격토크는 정격속도인 3300rpm에서 측정되었다.

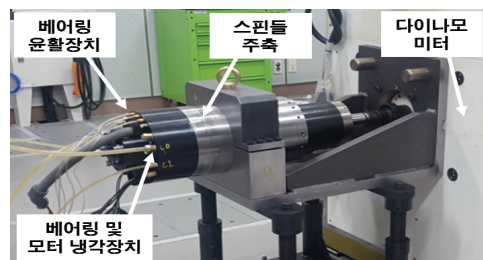


그림 2. 부하시험장치
Fig. 2. Test set with dynamometer

표 1. 부하시험결과

Table 1. Measured Values in Load-Condition

구분	측정값	구분	측정값
정격전류	60.18A	최대효율	92.14%
정격토크	74.99Nm	최대속도	15999rpm

2.2 속도제어에 따른 모터 특성 비교

자력특성은 그림 3과 같이 유한요소해석법에 의해 계산된 공극자속밀도의 반경방향성분과 원주방향성분의 함수에 의해 도출되어질 수 있고, 그림 4(a)는 선행연구^[2]에 의해 계산된 자력특성을 보이고 있다. 왜곡이 적고 평형한 결과에 따라 주축 진동에 자력이 큰 영향이 없을 것으로 판단된다. 공작기계용 빌트인 스피들 주축은 운전 속도 영역에서 1.0mm/sec 이하의 진동특성을 만족하여야만 한다. 빌트인 스피들 모터가 적용된 주축의 기준을 만족하는 진동특성을 4(b)에서 제시되어 있다.

그림 5는 무부하 및 정격부하조건에서 속도제어시의 d축 및 q축 전류, 부하각을 제시하고 있다. 본 모터는 3300rpm까지 일정 토크영역, 15000rpm까지 일정출력영역을 가지도록 제어된다. 부하시 토크 발생을 위해 q축 전류가 증가한 것을 확인할 수 있으며, 이에 따라 모터의 발열량이 증가한다. 하지만, 고속인 14000rpm에서는 상전류 실효값이 각각 무부하시 25.62A, 부하시 25.89A로 유사한 것을 확인할 수 있다.

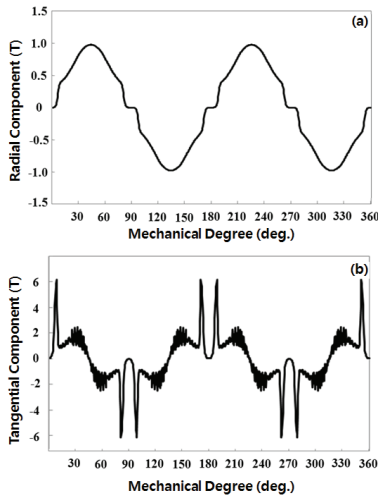


그림 3. 공극자속밀도 : (a) 반경방향, (b) 원주방향
Fig. 3. Flux density in air-gap : (a) radial, (b) tangential

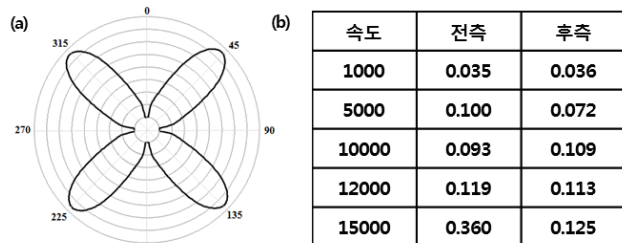


그림 4. 해석 및 실험결과 : (a) 자력특성, (b) 진동특성
Fig. 4. Analysis/ measured results : (a) radial force, (b) vibration

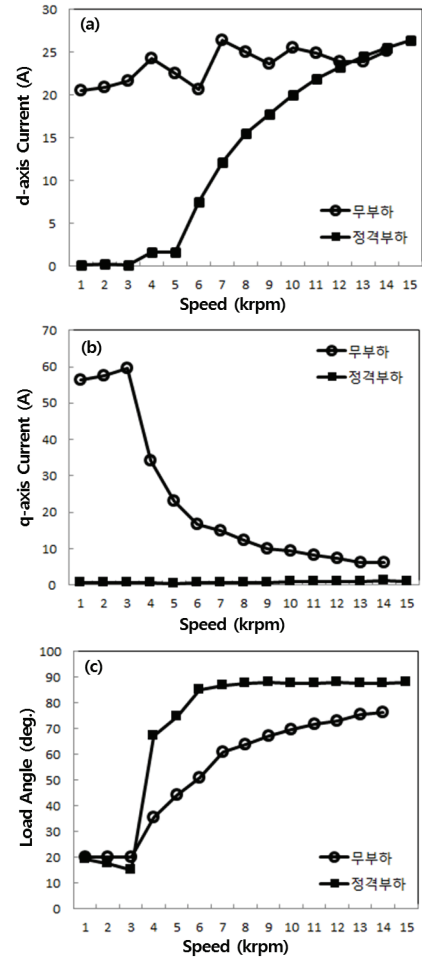


그림 4. 전류 특성 비교 : (a) d축 전류, (b) q축 전류, (c) 부하각
Fig. 4. Measured Current : (a) d-axis, (b) q-axis, (c) load angle

3. 결론

본 논문에서는 공작기계용 빌트인 스피들 주축에 적용되는 매입형 영구자석 동기 모터의 속도제어시의 특성을 제시하였다. 비균일 공극 및 W타입 영구자석 회전자 배치를 갖는 모터의 진동특성, 부하조건에 따른 전류특성 측정결과가 관련된 연구에 참고자료가 될 것으로 사료되며, 향후 적용된 주축이 실제 가공을 수행하는 경우의 모터 특성 및 제어특성에 관한 연구를 진행할 계획이다.

참고 문헌

[1] K.Yamazaki, K. Kitayuguchi, "Investigation of magnet arrangements in double layer interior permanent magnet motors," in Proc. ECCE, Atlanta, GA, USA, pp. 1384-1391, 2010.
[2] T. Sun, J. M. Kim, G. H. Lee, J. P. Hong, M. R. Choi, "Effect of Pole and Slot Combination on Noise and Vibration in Permanent Magnet Synchronous Motor", IEEE Trans. Magnetics, vol. 47, no.5, pp. 1038-1041, 2011.