

초고속 IPM Motor의 권선방식에 따른 비교

*김창순¹, 이춘만², 정원지²
¹ 한국전기연구원, ² 창원대학교

Comparison of the High-speed IPM Motor's Winding Type

*C. S. Kim¹, C. M. Lee², W. J. Chung²

¹ Korea Electrotechnology Research Institute, ² Changwon Nat'l Univ.

Key words : IPM motor, Concentrated winding, Distributed winding

1. 서론

초고속 전동기 시스템은 공작기계, 터보기계, 트랜스 미션 기어 등 일반적인 산업기계에서부터 항공기 터빈, 헬기 구동장치, 유도무기 등 국방 산업 분야에 이르기까지 여러분야에 이르기까지 다양하게 사용하고 있다. 국내 기존 모터 산업 기술은 전체적으로 선진국 대비 75% 수준이며 초고속 회전모터의 경우 국내 기술 수준은 그에 더욱 부족한 실정이다. 전동기는 점점 고출력, 소형화로 개발되어지고 있으며, 향후 초고속 전동기의 경우, 적용 영역은 점차 확대될 것이다.

초고속 회전모터 개발을 위해서는 고속 회전을 고려한 모터 설계, 구동 회로 설계, 구조 설계, 열 해석기술, 소음 진동 저감 기술, 제어 알고리즘 개발, 신재료 등의 다양한 기술이 집적화가 필요하다.

초고속 회전용 전동기는 회전자의 구조가 간단하고 견고하여 기계적인 안정도를 만족시켜야 한다. 그리고 경제적이면서도 원가 절감이 가능한 구조를 가져야 한다. 다양한 전동기 중 최근 높은 에너지 밀도와 견고한 회전자 구조로 인해 하이브리드 전기자동차, Compressor의 구동 등 Interior Permanent Magnet (IPM) 전동기는 여러 분야에서 관심을 받고 있다.

권선 방식은 크게 집중권(Concentrated winding)과 분포권(Distributed winding)으로 나뉘며, 권선 코일이 보통 몇 개의 슬롯에 분포된 분포권 방식을 일반적으로 많이 사용하게 되며, 이는 제작시 많은 시간과 노력을 필요로 하게 된다. 반면 집중권 방식의 경우 권선의 모든 코일을 두 슬롯 내에 배치하게 됨으로써 제작이 용이한 점을 들 수 있지만 분포권 방식에 비해 큰 토크 리플을 갖게 된다.¹

이에 본 논문에서는 분포권과 집중권 모델을 설계함으로써 권선 방식에 따른 전동기 특성을 비교하였다.

2. 고속 회전 모터 설계 기술 개발

이에 본 논문에서는 분포권과 집중권 모델을 설계함으로써 권선 방식에 따른 전동기 특성을 비교하였다. Fig.1 에서와 같이 유한요소법(Finite Element Method;FEM)에 의한 IPM 전동기의 자속 분포도를 볼 수 있다. 분포권 전동기와 집중권 전동기의 주요파라미터는 Table 1과 같다.²

Fig. 2와 같이 IPM 전동기의 속도-토크, 속도-출력 특성을 나타내며 기저속도(26,400rpm)까지는 0.74Nm의 일정토크로 운전이 되며, 그 이상의 속도영역에서는 속도증가에 따라 토크가 감소하여 일정한 출력이 나오게 되었다.

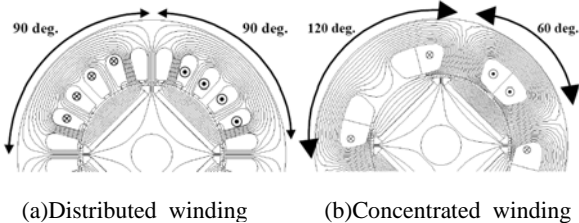


Fig. 1 The stator configurations of IPM motor

Table 1 Parameter of the IPM motor

	Distributed winding	Concentrated winding
rated output(kW)	2	
Torque(Nm)	0.74	
min speed / max speed(rpm)	26400/40000	
DC link voltage	300	
rated current(A _{rms})	8.4	8.7
pole/slot	4/24	4/6
serial turns/phase	52	58
current density(A/mm ²)	6.1	5.77
(%)	34.56	34
stack length(mm)	34	
airgap(mm)	0.8	
stator outer diameter(mm)	79	
stator inner diameter(mm)	34.4	
core material	Cogent steel(0.35T)	
permanent magnet	NdFeB (20℃, Br:1.2T)	

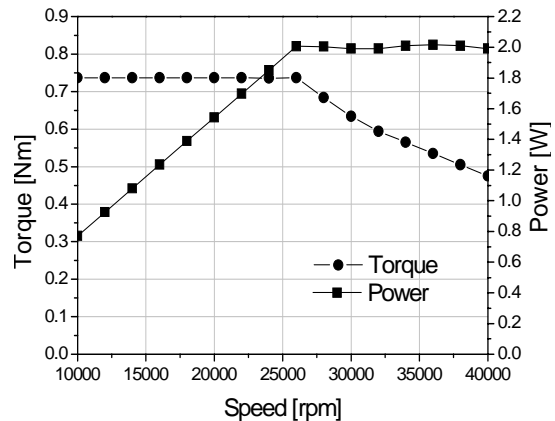
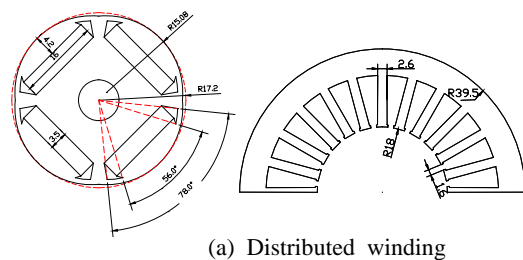
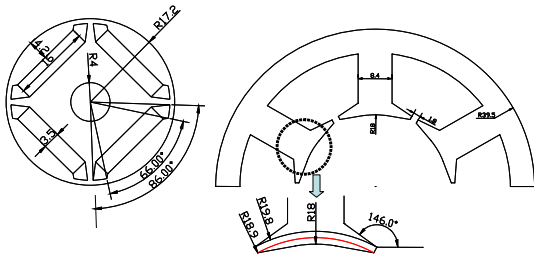


Fig. 2 Driving characteristics of IPM motor

두 가지 방식의 IPM 전동기를 Fig.3과 같이 설계하였다.



(a) Distributed winding



(b) Concentrated winding
Fig. 3 The designed IPM motor

유한요소법으로부터 얻은 분포권 모델과 집중권 모델의 36,000rpm에서의 출력 토크(Fig. 3)는 각각 토크리플 저감을 위한 최적설계한 결과, 분포권은 8.73%의 토크 리플을, 집중권은 11.43%의 토크 리플을 보였다.

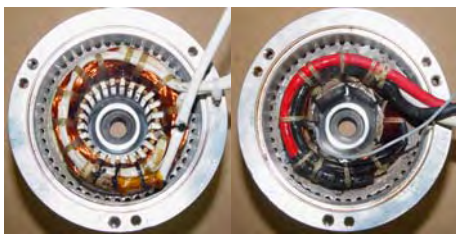


Fig. 4 The prototyped IPM motors
:Concentrated winding(L) and Distributed winding(R)

3. 결과 분석

40,000rpm을 기저속도로 하여 제어기를 이용한 전류 위상각 제어를 통하여 7,000rpm까지 부하실험을 수행하였다.

Table 2 Parameter of the IPM motors include load

Table legend	Concentrated / Distributed
min speed[rpm]	4000
max speed[rpm]	7000
V_{rms}	28
current limit[A]	10
power[W]	25

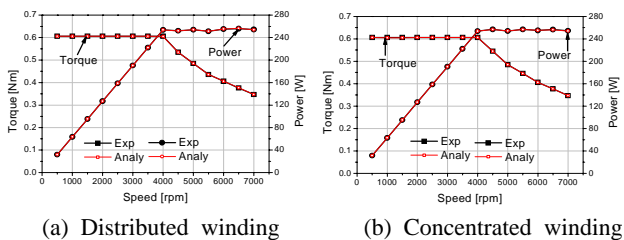
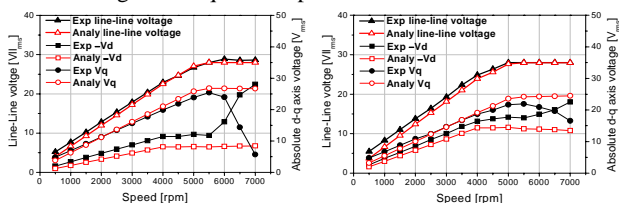
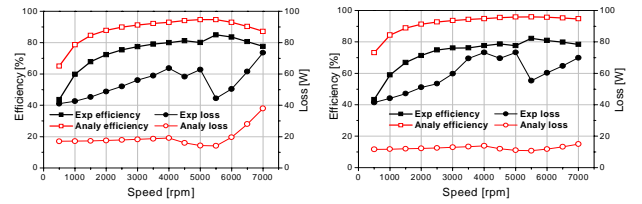


Fig. 5 Torque and power of the load test



(a) Distributed winding (b) Concentrated winding
Fig. 6 d-q axis voltage and line-to-line voltage



(a) Distributed winding (b) Concentrated winding
Fig. 7 Efficiency and loss

Fig. 5, Fig. 6 그리고 Fig. 7은 각각 부하실험의 토크-출력 그래프, d-q축 전압 및 선간전압, 각각의 효율과 손실에 대한 결과값이다. Fig. 7과 Fig. 8에서 5,000rpm까지의 부하실험 결과와 해석결과의 정상적인 양상이 나타났으며, 5,500rpm이 넘어서자 전류 위상각과 전압의 오차가 발생하였다. 위 결과에서 Fig. 7과 같이 전반적인 양상은 분포권 방식과 집중권 방식 둘 다 유사한 결과를 보이지만 시뮬레이션 손실 파라미터에 대한 보완이 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구로 인하여 분포권 40,000rpm급 초고속 전동기를 분포권과 집중권으로 설계 및 제작하여 실험으로 검증하였다. 55,000rpm 이후 전류 위상각과 전압의 오차가 발생함으로써 약계자 제어시 시뮬레이션상의 각 파라미터 산정시 발생하는 오차를 최대한 줄여야 하는 과제를 갖게 되었다.

후기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-01-03) 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Paresh C. Sen, "Principles of Electric Machines and Power Electronics", WILEY, 503-517, 1998.
2. Yukio Honda, Yoji Takeda, "A Study of rotor configuration for IPMSM with concentrated winding considering the iron loss", IEEJ, 2001
3. 하경호, 차상윤, 김재관, 홍정표, "영구자석형 모터의 고정자 철심에서 자계의 거동 및 철손 분석", KIEE, 제55권2호, pp.76-82, 2006