

수전동 휠체어용 모터 개발

Development of In-wheel Motor for Power Add-on Drive Wheelchair

홍응표^{1,✉}, 박세훈¹, 오홍석², 류제청¹, 문무성¹
Eung-Pyo Hong^{1,✉}, Sei-Hoon Park¹, Hong-Seok Oh², Jae-Cheong Ryu¹ and Mu-Seong Mun¹

1 재활공학연구소 (Korea Orthopedics Rehabilitation Engineering Center)

2 (주)코모텍 (KOMOTEK CO., LTD)

✉ Corresponding author: ephong@korec.re.kr, Tel: 032-500-0584

Manuscript received: 2010.11.22 / Accepted: 2011.5.17

The recent power add-on drive wheelchairs (PADWs) provide greater physical activity, are easier to transport, and may be an excellent alternative for the typical manual or electric wheelchairs. The development of in-wheel motor for a PADW is the principal issues. In this paper, design, implementation, and testing of the permanent magnet synchronous motor (PMSM) for a PADW are presented. To design output power and torque of the motor, the equation of motion has been investigated. The design parameters were calculated and the dimension and shape of the motor which was limited by the In-wheel mechanism of the PADW were done by applying FEM and optimal design technique. The prototype of the motor mentioned above was fabricated with precise machining and assembling. Then the motor tested on dynamometer and the measured results of the motor were verified by comparing the design results. The fabricated motor was 80 mm in length with a diameter of 110 mm and small enough to be attached the driving unit of the PADW.

Key Words: Powered Wheelchair (전동휠체어), In-wheel Motor (인휠 모터), Manual to electric convertible Wheelchair (수전동 겸용 휠체어)

1. 서론

휠체어는 정상적인 보행이 불가능한 마비환자나 근력이 저하된 고령자를 위한 재활보조기이다. 세계적인 고령화와 더불어 휠체어에 대한 수요는 지속적으로 증가하고 있으며 우리나라도 휠체어가 공격적여 품목으로 지정되어 고령자와 장애인들에게 보급되고 있다. 휠체어는 구동방식에 따라 수동(manual)형과 전동(power)형으로 구분할 수 있다. 사용자가 손으로 바퀴를 밀며 주행하는 수동휠체어는 별도의 구동장치가 필요하지 않으므로 구조가 간단하고 상지운동을 수반하므로 사용자의 재활에도 유용하다. 최근의 고기능 수동휠체어는

10 kg 내외로 가볍게 만들어져 승용차 이송과 스포츠 활동 등이 용이하므로 보호자없이 휠체어 사용자들의 독립적인 생활을 지원하고 있다.

전기장치를 이용하여 바퀴를 움직이는 전동휠체어는 무겁고 고가이나 상지가 손상된 장애인이나 근력이 저하된 노약자들이 사용하기 편리하다. 이러한 사용의 편의성으로 수동운전이 가능한 사용자들에게도 전동휠체어에 대한 수요는 지속적으로 증가하고 있다. 그러나, 무겁고 부피가 커 승용차로 이송하기 어려우며 아파트가 많은 우리나라 주택 특성상 실내 보관이 쉽지 않다.

이러한 단점을 극복하기 위해 수동휠체어와 전동휠체어의 장점만을 살린 수전동 휠체어(power

add-on drive wheelchair: PADW)가 개발되고 있다.^{1,4,13-15} PADW 의 가장 큰 장점은 사용자의 요구에 따라 주위환경에 적합하게 수동휠체어 기능과 전동휠체어 기능을 적절히 사용할 수 있다는 것이다. PADW 사용자는 평지에서는 수동휠체어 기능을 사용하고, 경사로에서는 전동휠체어 기능을 사용할 수 있다. PADW 는 조이스틱을 이용한 사용의 편의성으로 보행이 어려운 고령자나 중증장애인지지 넓은 범위의 사용자 층을 확보할 수 있다. 또한, 승용차에 손쉽게 탑재가 가능하므로 전동휠체어로서 이동성이 보장되며, 전동 기능이 있으므로 장거리 운전에도 사용할 수 있다.

독일 알버(Alber)사의 PADW 는 경량휠체어 프레임과 구동륜내에 삽입된 전동 구동장치로 구성되며, 필요시 구동륜을 분리하여 승용차로 이동이 가능하다.¹ 알버사의 구동장치는 120W 혹은 150W 허브형 모터와 감속기로 구성되어 140 kg 의 탑승자가 사용할 수 있도록 상품화되어 있다. 유사한 기능의 제품으로 일본의 야마하사에서 개발한 JW 시리즈가 있으며,² 국내에서는 재활공학연구소 등에서 유사제품에 대한 연구가 이루어지고 있다.^{3,4} 선행 연구로부터 PADW 는 구동휠과 차체로 손쉽게 분리되어야 하며, 활동형 휠체어 사용자들이나 동양인 여성 보호자를 위해 구동휠과 차체의 무게를 더욱 감소시킬 필요가 있다.

PADW 의 핵심인 구동휠은 탈착을 위해 고토크 모터, 감속기, 브레이크를 휠에 내장하는 구조로 갖는다.^{5,6} 일반적인 PADW 의 휠 크기는 24 인치이므로 전동휠체어용 휠 크기인 12 인치 혹은 14 인치와 비교하여 약 2 배이다. 최고속도는 수동휠체어 차체를 사용하므로 안전성을 고려하여 6 km/h 로 제한하고 있다. 이로부터 PADW 용 구동모터는 저속의 고토크 모터가 요구되며, 작고 가벼워 구동휠 무게와 크기를 감소시킬 수 있어야 한다. 또한, 전동휠체어의 핵심 전장품으로써 고효율 모터 개발이 중요하며, 환경과 충격에 견딜 수 있는 고신뢰성 및 양산이 용이한 보급형 제품 개발이 요구되고 있다.

기존 전동휠체어용 구동모터는 구조가 간단하고 저가인 직류모터(DC Motor)가 많이 사용되었으나 유지보수가 어려운 단점이 있었다. 특히, 직류모터를 사용하는 전동휠체어는 저속 및 정·역 운전으로 브러쉬의 손상이 심해 실내용 휠체어로 적합하지 않았다. 최근에는 고가 수입휠체어를 중심으로 이를 보완하기 위해 내구성을 높일 수 있는

PMSM(Permanent Magnet Synchronous Motor)을 전동휠체어에 채용하고 있다. 본 논문에서는 PADW 용 구동장치를 위한 휠 내장형 매입형 회전자 구조를 가진 PMSM 을 설계 및 제작하였다. PADW 용 구동모터의 기본 요구사항을 결정하고 유한요소법과 최적화 설계기법을 적용하여 PMSM 을 설계하였다. 시제품으로 제작된 PMSM 은 성능시험으로부터 설계값에 근접하는 특성을 보였고 PADW 용 모터로 사용가능함을 확인하였다.

2. 구동장치 사양

PADW 용 구동장치 사양은 휠체어 동역학에 기초하여 결정할 수 있다. 그림 1 은 경사각 θ 의 경사로를 따라 총중량 m 의 무게로 가속도 a 로 움직이는 휠체어에 작용하는 여러 힘을 나타낸다. F_f 는 마찰력, F_c 는 경사로 발생하는 PADW 무게 성분, F_r 은 휠체어에 필요한 주행력이라고 할 경우 휠체어가 경사면에서 정지하기 위한 조건은 다음과 같이 나타낼 수 있다.^{7,8}

$$F_f = \mu mg \cos \theta \tag{1}$$

$$F_c = mg \sin \theta \tag{2}$$

$$F_r = F_f + F_c \tag{3}$$

표 1 은 기본적인 PADW 용 구동장치의 사양을 나타낸다. 감속거리 (Deceleration distance)는 시험검사 항목이나 기타 항목들은 국외 유사제품에 준하는 값으로 사양을 설정하였다.^{1,2}

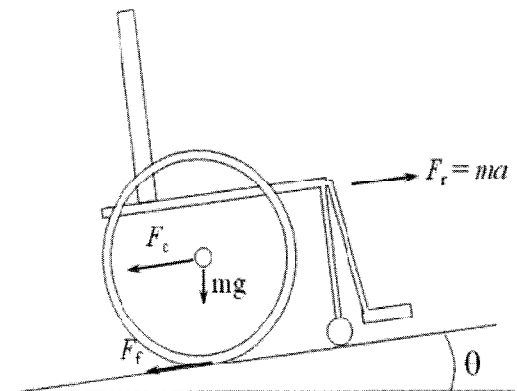


Fig. 1 Driving forces acting on a wheelchair along a slope

Table 1 Specifications of the driving wheel

Wheelchair Gross weight	25 kg
Loading	115 kg
Wheel radius	24 inch
Maximum slope	10°
Rolling friction coefficient	0.3
Maximum speed	6 km/h
Deceleration distance	1m on level surface
Gear ratio	22:1

표 1 의 구동휠 사양을 만족하는 PADW 에 필요한 주행력은 아래와 같이 계산할 수 있다. 구동 모터 출력 P_m 은 구동모터의 각속도를 ω_m , 토크를 τ_m 라고 할 경우 식 (4)와 같다.

$$P_m = \tau_m \omega_m \quad (4)$$

PADW 용 구동장치는 그림 2 와 같이 감속기를 거쳐 휠 축으로 모터의 회전력을 전달한다. 이때, 모터의 구동토크는 구동휠 직경을 r_w , 감속비를 n , 구동휠 추력을 f_w 라 할 경우 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau_m = nr_w f_w \quad (5)$$

그림 1 과 그림 2 로부터 PADW 의 왼쪽 및 오른쪽 바퀴는 대칭이며 축으로 완전히 연결되어 있다고 가정할 경우 휠체어에 필요한 주행력 F_r 은 다음과 같다.

$$F_r = 2f_w \quad (6)$$

식 (3)과 (6)으로부터 휠체어가 경사면에 미끄러지지 않기 위한 구동모터의 출력은 다음과 같다.

$$P_m \geq \frac{1}{2} mgr_w n \omega_m (\sin\theta + \mu \cos\theta) \quad (7)$$

식 (7)로부터 최대속도 6km/h 로 주행하는 전동 휠체어가 10° 경사각에서 미끄러지지 않기 위해 필요한 모터 출력은 530W 이다.

무게 m kg 의 전동휠체어가 v km/h 의 속도로 이동할 경우 전동휠체어가 가지고 있는 운동에너지 E_k 는 식 (8)과 같다.

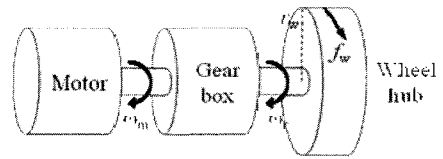


Fig. 2 Driving wheel system

Table 2 Motor specification

Specification	Design value
Dimension[mm]	Φ120 x 80
Supply Voltage [VDC]	24
Current rating [Arms]	10
Rated Power [W]	200
Rated Torque[Nm]	1.5
Max. Torque [Nm]	4.5
Rated. Speed [rpm]	1300
Max. Efficiency [%]	85
Rotor type	Outer rotor

$$E_k = \frac{1}{2} m(v/3.6)^2 \quad (8)$$

이때, 전동휠체어가 s m 진행 후 정지하였다면 필요한 제동력 F_s 는 다음과 같다.

$$F_s s = \frac{1}{2} m(v/3.6)^2 \quad (9)$$

전동휠체어 시험검사규격으로부터 최대속도 6km/h 의 전동휠체어는 정지거리가 1m 이하이다. 식 (9)로부터 이때 필요한 제동력은 194N 이며, 모터에 필요한 토크는 2.65 Nm 이상이다. 계산된 주행력과 제동력으로부터 PADW 용 구동장치에 사용할 모터의 목표사양을 표 2 와 같이 설정하였다. 표 2 에서 설정한 PADW 용 구동모터 정격용량은 순간출력 600W 를 출력할 수 있으므로 상당히 큰 용량이나, 경사도가 많은 국내 지형을 고려하여 충분한 용량으로 설정하였다.

3. PADW 용 휠 내장형 구동모터 설계

PADW 용 구동장치는 차량이송, 실내보관 등을 위해 휠의 탈착이 잦으므로 구동 휠 무게가 가벼워야 사용이 편리하다. 기존의 제품화된 구동 휠들은 서양인의 체형을 기준으로 제작되어 체적이

작은 동양인들이나 여성 보호자들이 사용하기에 무겁다. 알버사의 e-fix 의 경우 분리한 구동휠 무게는 8kg 이다.¹ 구동 휠의 무게는 감속기, 모터 등의 무게와 관련이 있으며, 특히 휠 허브의 두께 보다는 직경이 증가할 전체 구성품의 무게가 증가하게 된다. 휠 허브의 직경을 최소화하기 위해 모터, 감속기 등의 부품은 직경을 최소화할 필요가 있다. 또한, 브레이크와 감속기도 모터와 함께 휠에 내장해야 하므로 모터의 형상은 구동장치 메커니즘에 따라 제약을 받는다.^{5,6} 본 연구에서 브레이크를 내장한 모터 크기는 구동장치 메커니즘으로 인해 직경 120 mm, 두께 80mm 이하의 원통형상으로 구현해야 휠 내부에 조립하여 일체형 구동장치로 사용할 수 있다.

PADW 용 구동장치는 구동휠의 직경이 일반적인 전동휠체어의 약 2 배이므로 구동모터도 큰 토크를 낼 수 있는 설계가 요구된다. 이를 위해 본 연구에서는 동일한 크기일 경우 내전형보다 큰 토크를 낼 수 있는 외전형 회전자 구조를 채택하였다. 전동휠체어용 브레이크는 전원이 단락될 경우 구동장치를 제동할 수 있어야 한다. 개발하고 있는 PADW 용 구동장치 메커니즘에서 브레이크는 구동장치 전체의 크기를 감소시키기 위해 모터 내부에 위치하는 구조를 채택하였다. 따라서, 개발할 모터는 외전형 회전자 구조를 가지는 중공형 형상으로 설계해야 한다. 본 연구에서는 모터 설계 및 해석을 위해 MotorPro™ 를 사용하였다.⁹⁻¹¹

3.1 회전자와 고정자 구조 및 형상설계

외전형 회전자 구조를 가진 영구자석형 동기모터는 회전자 코어(Rotor core)에 부착되는 자석의 형태에 따라 그림 3 과 같이 영구자석을 회전자 표면에 접착하는 표면 부착형(Surface Permanent Magnet: SPM)과 회전자 내부에 완전히 함몰하는 매입형(Interior Permanent Magnet: IPM) 구조로 나누어진다. 매입형 모터는 자석이 회전자 코어 내부에 매입되기 때문에 구조적으로 견고하고 기계적 신뢰성이 높아 정격속도 범위의 고속운전이 가능하다. 표면 부착형 모터는 저속 고평토크의 토크제어에 유리하므로 로봇 및 공작기계 등의 제어에 유리하나, 영구자석이 회전자 표면에 접착 혹은 부착되므로 고속 회전이나 고온에서 영구자석의 분리를 방지할 수 있는 구조 및 보조장치가 필요하다.

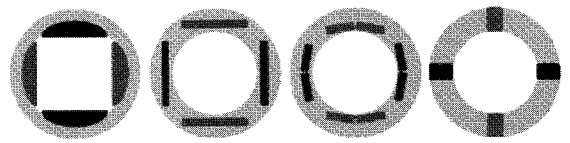


Fig. 3 Outer rotor magnet shape (a) SPM (surface permanent magnet), (b) IPM (Interior permanent magnet), (c) V shape IPM and (d) spoke IPM

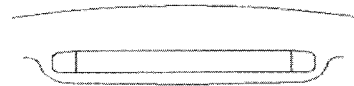


Fig. 4 Rotor structure of the designed motor

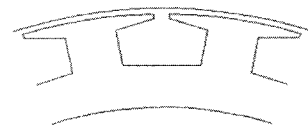


Fig. 5 Stator core structure of the designed motor

PADW 용 모터는 전동휠체어의 특수한 제품 사양을 충족할 필요가 있다. 전동휠체어용 구동장치는 의료기기로서 높은 신뢰성과 내구성이 필요하다. 또한, 실내외 겸용 전동휠체어는 저속에서의 운전이 많고 부드러운 승차감을 위해 낮은 토크 맥동(ripple)이 요구된다. 전동 이동장치는 이동시 발생하는 충격이 바퀴와 감속기를 거쳐 모터로 직접 전달되므로 견고한 구조를 요구한다. 특히, 유성감속기를 적용하는 PADW 용 구동모터는 웜기어 방식 감속기를 적용하는 일반 전동휠체어 모터에 비해 기계적으로 견고하고 신뢰성이 높은 구조를 필요로 한다. 이를 위해 본 연구에서는 PADW 용 구동모터를 매입형 회전자 구조의 영구자석형 동기모터로 설계 하였다. 그림 4 는 16 극으로 설계된 PADW 용 구동모터의 매입형 회전자 구조를 나타낸다.

고정자 (Stator)는 코어의 구조에 따라 일체형 코어 구조와 분할코어 구조로 구분할 수 있다. 일체형 코어는 구조적으로 견고하고 자기적으로 안정적이거나 고밀도 권선이 어렵다. 분할코어 구조는 코어를 분할하는 방식으로 고밀도 권선이 가능하며 모터의 소형화, 고효율화에 유리하다. 그림 5 는 설계된 PADW 용 구동모터의 고정자 구조로 18 슬롯 분할코어 구조를 채택하여 모터의 박형화를 달성하였다.

권선 방식은 그림 6 과 같이 소형화, 고출력화에 유리한 분할정렬권선 방식을 적용하였다. 집중권은 권선이 용이해 제조비용을 줄이는 효과가 있으나 철손증가 및 영구자석의 온도를 높이는 단점이 있다. 본 연구에서는 작고 큰출력을 낼 수 있는 시제 제작을 위해 분할코어 정렬권선의 레이저 측부 용접에 의한 철판적층 방법을 적용하였다. 이 기술은 점적률을 70%까지 높일 수 있어 모터 체적을 약 1/3 감소시킬 수 있다.⁹

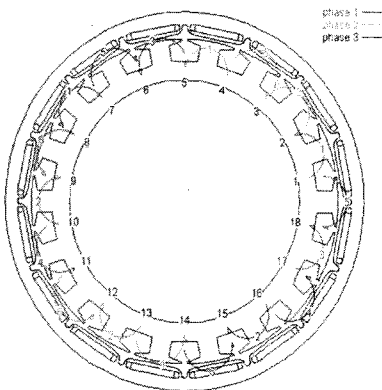


Fig. 6 Winding configuration of the designed motor

3.2 토크리플 저감 설계

전동휠체어의 승차감을 높이기 위해서 구동모터는 토크 맥동을 최소화 해야 한다. 본 연구에서는 PADW 용 모터 설계시 상세한 자기해석을 수행하여 다양한 요인에 의한 토크 맥동을 최소화하였다. 일반적으로 동기모터의 토크 맥동 저감설계는 영구자석 형상의 최적화를 통한 회전자 기자력 고조파의 저감, 극수 슬롯비를 포함한 권선배치, 경사슬롯(skew) 구조의 채용 등을 고려해야 한다. PADW 용 모터는 소형화가 중요하고 모터 형상이 자유롭지 않은 구조이므로 이른값 만큼의 토크 맥동 저감효과를 얻기 어렵다. 토크 맥동 저감 설계는 자기등가회로법과 유한요소법을 이용한 상세한 자기해석이 요구되며, 정밀한 모터 설계와 해석을 통해 자기포화를 고려한 자기회로 설계 및 오차의 영향분석으로 토크 맥동 최소화가 가능하였다.^{10,11} 그림 7 은 설계된 구동모터에 대한 유한요소 해석 영역의 요소분할을 나타낸다. 이로부터 에너지가 전달되는 공극에 요소가 조밀하게 분할되어 있는 것을 확인할 수 있다.

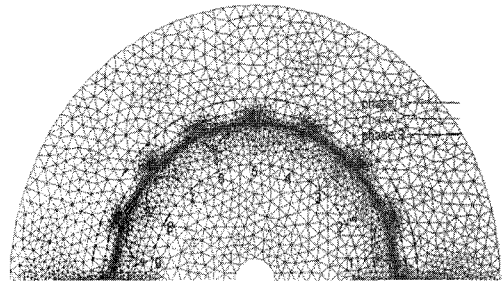


Fig. 7 Finite element mesh of the designed motor

Table 3 Results of the designed motor

Item	Unit	Spec.
Driving voltage	Vdc	24
Rated output	W	204
Rated torque	Nm	1.5
Rated speed	Rpm	1300
Rated current	Arms	10±10%
Max. torque	Nm	4.5
Max. efficiency	%	85

3.3 PADW 용 모터 설계 결과

표 3 은 설계한 PADW 용 구동모터 설계 결과이며 표 2 의 설계사양을 만족함을 알 수 있다. 그림 8 은 설계한 모터의 FEM 해석에 의한 전기각에 따른 역기전력 전압파형을 나타낸 것이다. 그림 8 로부터 설계된 모터는 사인파 형상과 유사한 역기전력 파형을 나타내어 모터가 최적설계 되었음을 알 수 있다. 그림 9 는 설계한 모터의 토크 맥동을 나타낸다. 설계한 모터의 토크 맥동은 0.5% 이하였다. PADW 용 구동모터는 그림 10 과 같이 각 부품을 구성하였다. 모터 중공부는 브레이크가 위치하고 모터 외부는 휠에 둘러싸이는 형상이며 고정자에 별도의 어댑터를 부착하고 모터의 속도를 검출하는 센서를 장착하였다.

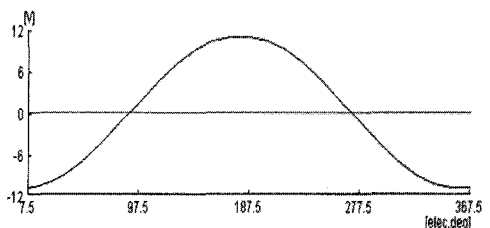


Fig. 8 Back EMF voltage of the designed motor

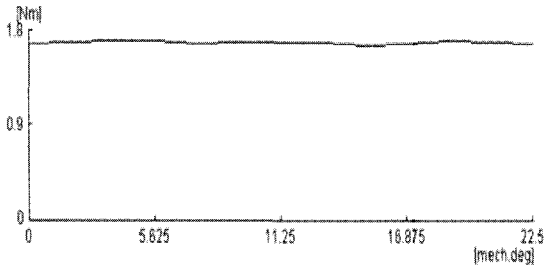


Fig. 9 Torque ripple of the designed motor

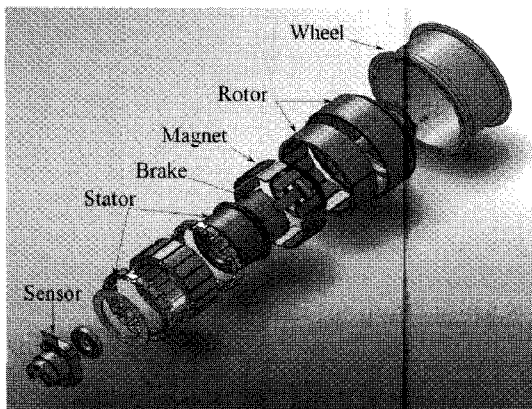


Fig. 10 3D model of designed motor

4. 모터 제작 및 시험

그림 11 은 설계된 모터의 조립과정을 나타낸다. 회전자는 조립 지그를 사용하여 코어를 회전자에 고정함으로써 동심을 유지하였다. 고정자는 자동권선에 유리한 분할 코어 방식으로 제작하였고, 정렬권선 방식으로 점적률을 높여 모터의 소형화가 가능하도록 하였다. 구동모터는 브레이크를 고정자에 삽입하여 볼트로 고정한 후 회전자와 결합하였다. 또한, 홀 센서를 부착하기 위해 별도의 어댑터를 제작하였고 링 형태의 센서용 자석도 제작하였다. 어댑터는 모터와 구동휠 전체를 차체와 연결해주는 역할에도 사용된다. 홀 센서 모듈은 장착후 미세조정으로 센서 출력의 정확도를 유지할 수 있도록 제작하였다. 제작된 모터는 직경 110mm 이며 어댑터를 제외하고 80 mm 두께로 구동휠 내에 장착 가능하였다.

그림 12 는 제작된 모터를 시계방향으로 회전시키며 측정된 역기전력 파형이다. 측정된 역기전력 파형은 고조파 성분이 거의 없는 정현파였으며, 각각의 상들은 정확히 120° 의 위상차를 유

지하였다. 이로부터 그림 8 의 역기전력 파형 설계결과와 제작된 시체의 측정결과가 잘 일치함을 알 수 있다. 표 4 는 부하시험을 통해 측정된 제작된 모터의 특성을 나타내며 그림 13 은 측정된 모터의 효율을 나타낸다. 효율이 설계 값에 비해 조금 떨어지나 표 4 로부터 제작된 모터는 설계 사양 요건을 만족함을 알 수 있다. 또한, 상온 운전시 정격부하에서 연속 운전으로 내부 코일 온도가 60℃를 넘지 않아 구동장치 발열에도 이상이 없음을 확인하였다.

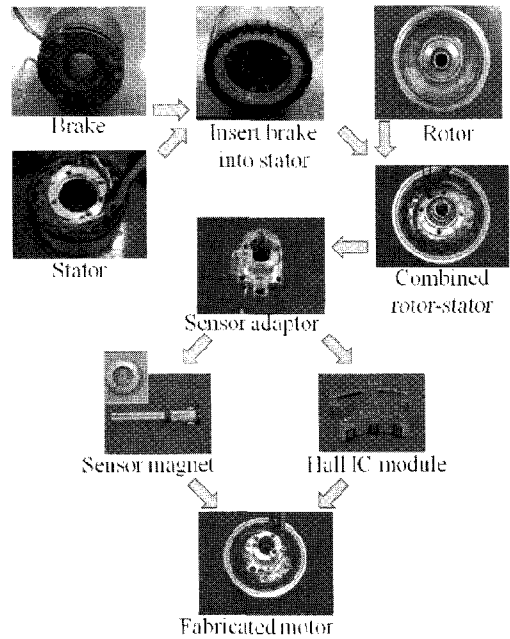


Fig. 11 Motor Assembling

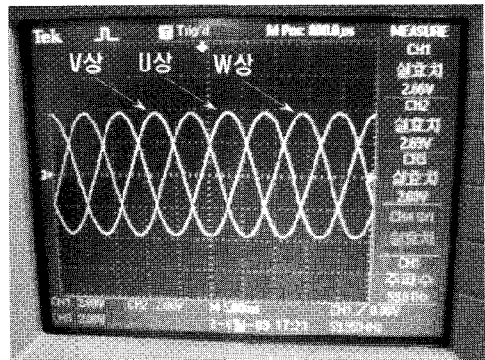


Fig. 12 Back-EMF Waveform

Table 4 Measured Results of Dynamometer test

Item	Unit	Designed Spec.	Measured value
Driving voltage	Vdc	24	24
Rated output	W	204	200
Rated Torque	Nm	1.5	1.5
Max. Torque	Nm	4.5	4.5
Rated speed	Rpm	1300	1300
Rated current	Arms	10±10%	10.5
Max. Efficiency	%	85	82

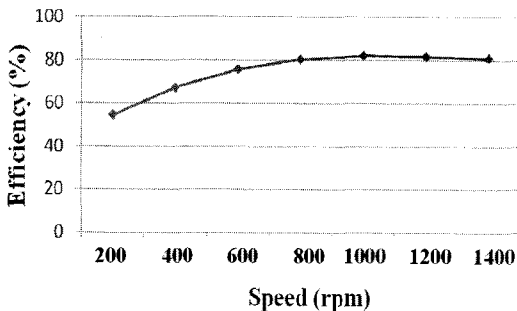


Fig. 13 Efficiency of the motor



Fig. 14 Prototype of PADW using the fabricated motor

5. 고찰

그림 14 는 제작된 모터를 사용하여 구현한 PADW 시제품을 나타낸다. PADW 시제품은 허용부하에서 설정된 기울기 10° 의 경사로 이동이 가능하였고 구동장치는 주행을 위한 충분한 토크 출력이 가능하였다. 구현된 모터의 무게는 브레이크를 포함하여 3 kg 이었고 타이어를 포함한 구동 휠 전체 무게는 6.5kg 이었다. 유사제품인 Alber 사의 구동 휠은 120W 용량의 모터를 적용할 경우 8 kg 이

므로,¹ 본 연구를 통해 제작된 200W 용량의 구동모터는 충분히 작은 무게로 구현되었음을 알 수 있다.

그림 13 으로부터 제작된 모터의 효율은 1000rpm 부터 1200rpm 구간에서 최고 효율 82%를 보였다. 일반적으로 전동휠체어의 경우 정격속도에서 최고효율을 가지도록 모터를 제작해야 에너지소비를 최소화하며 이동거리를 최대화할 수 있다. 정격속도 1300rpm 에서 제작된 모터의 효율은 81%였으며 약간의 효율저하가 발생하였지만 전동휠체어용 구동장치에 충분히 사용 가능할 것으로 판단된다. 모터 효율 개선은 모터설계뿐만 아니라 모터를 구성하는 부품전체의 정밀도 및 제조공정과 관계가 있다. 제작된 모터는 시제품으로서 부품의 금형 제작과 조립공정 등의 한계로 설계 값에 미치지 못하는 효율을 보였다. 양산설계 및 양산공정 개발을 통해 모터의 효율개선이 기대된다.

제작된 PMSM 은 속도감지 센서로 홀센서를 사용하였다. 정밀한 제어를 위해 엔코더 (encoder) 사용을 검토할 필요가 있다. 광학식 엔코더를 사용하기에는 공간의 제약이 있으나 자기식 엔코더는 충분히 사용 가능하다.^{12,15} 그림 11 에서 센서용 자석을 별도로 사용하고 홀센서 모듈을 장착하는 과정은 자기식 엔코더를 구성하는 방법과 유사하다. 또한, 센서 고정용 어댑터 부근의 형상과 치수는 이러한 엔코더를 부착할 수 있는 공간을 제공함을 알 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 최근 사용이 확대되고 있는 PADW 용 구동장치에 적용 가능한 구동모터를 설계 및 제작하였다. PADW 용 구동모터의 기본 요구 사양을 결정한 후 유한요소법과 최적화 설계기법을 적용하여 PMSM 을 설계하였다. 휠허브의 크기를 최소화하고 큰 토크를 발생시키기 위해 외전형으로 개발된 중공형 모터는 주어진 공간에 맞추어 제작이 가능하였고 여러 설계사양을 만족하였으며 충분한 출력과 양호한 발열 특성을 보였다. 따라서, 개발된 모터는 PADW 용 구동장치에 충분히 적용 가능함을 확인하였다.

후 기

이 연구는 지식경제부 산업원천기술개발사업의 지원 (과제번호: 10032055)으로 이루어졌습니다.

참고문헌

1. Ulrich Alber, <http://www.alber.de>
2. Dong Bang Co. Ltd., <http://www.dbmedical.co.kr>
3. Ryu, J. C., "The Convertible Wheelchair System," Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 20, No. 2, pp. 14-18, 2003.
4. Choi, Y. C., Rhee, K. M., Choi, H. S. and Seo, Y. T., "Development of the Foldable Manual/Power Hybrid Wheelchair," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 23, No. 2, pp. 172-180, 2006.
5. Ulrich Alber, "Small vehicle, particularly rolling chair with foldable chair frame," US Patent, No. 5246082, 1993.
6. Naitou, S. and Hino, H., "Rotary electric machine and electric wheelchair mounted with rotary electric machine," US Patent, No. 7592733, 2009.
7. Yang, Y. P., Huang, W. C. and Lai, C. W., "Optimal design of rim motor for electric powered wheelchair," Electric Power Applications, Vol. 1, No. 5, pp. 825-832, 2007.
8. Kim, B.-H., "Analysis on Climbing Capability of Wheel Drive Robotic Mechanisms," Korea Intelligent Information System Society, Vol. 18, No. 3 pp. 329-334, 2008.
9. Komotek Co. Ltd., <http://www.komotek.com>
10. Cho, J., Oh, H., Cho, S., Kim, D., Lee, S., Kim, H. and Park, J., "Rotor core shape design for high power of Hybrid electric vehicle driving motor," Proc. of KSAE Autumn Conference, Vol. 3, pp. 1653-1657, 2006.
11. Cho, J., Lee, H., Oh, H., Cho, S., Yoon, J. and Kim, D., "Trend of Technology for the driving motor of hybrid electric vehicle," Proc. of KSAE Autumn Conference, pp. 1449-1452, 2005.
12. Austria Micro Systems, Co. Ltd., <http://www.austriamicrosystems.com>
13. Hong, E. P., Oh, H. S., Ryu, J. C. and Mun, M. S., "Development of In-wheel motor for powered Wheelchair," Proc. of KSPE Autumn Conference, pp. 649-650, 2010.
14. Kim, Y. C., Hong, E. P., Kim, K. S., Ryu, J. C. and Mun, M. S., "Development of In-wheel driving mechanism for Electric Wheelchairs," Proc. of KSPE Autumn Conference, pp. 983-984, 2010.
15. Hong, E. P., Hwang, J. H., Ryu, J. C. and Mun, M. S., "Application of linear hall sensor for powered-wheelchair motor," Proc. of KSPE Autumn Conference, pp. 1021-1022, 2010.