

전동 스쿠터 동력장치 설계

김 문 환*

신라대학교 자동차기계공학과

A Driving System Design of an Electric Motor Scooter

Moonhwan Kim*

Department of Automotive Engineering, Silla University, Busan 617-736, Korea

(Received 18 June 2009 / Accepted 30 March 2011)

Abstract : This paper proposes a new design method for electric scooter which can maximize the power efficiency at the given driving condition. The proposed method is designed with the electric and mechanical parameters and driving dynamics. These values are extracted from the dynamic and mathematical equations of the scooter. For validation, numerical simulation results are presented in this paper. As a result, the scooter achieved over 80% efficiency at 360 rpm at 1.42kw load. It is clear that the proposed method was verified through a 1.42kw numerical model.

Key words : Electric motor(전동기), Electric scooter(전동 스쿠터), Running resistance(주행저항), Gradient resistance(등판저항), Battery(배터리)

Nomenclature

W : work	g : acceleration of gravity
F : force	μ_a : air resistance coefficient [kg/m^2]
d : distance	A : frontal area [m^2]
V : velocity [km/h]	ρ : density of air [kg/m^3]
t : time	C_d : drag coefficient
P : power	M_s : weight of scooter
F : running resistance	M_h : weight of rider
F_r : rolling resistance	α : decreased length of tire diameter by rider weight
F_a : air resistance	N_m : maximum rotation speed of electric motor
F_g : gradient resistance	T_m : maximum torque of electric motor
F_{ac} : acceleration resistance	P_m : maximum power of electric motor
V_m : maximum velocity [km/h]	
D_t : diameter of tire [mm]	
μ_r : rolling resistance coefficient	

1. 서론

여러 분야로부터 사랑받고 있는 단거리 교통 이 동수단으로 스쿠터가 있다. 특히 인구가 밀집되어 있는 각국의 대도시에서는 교통정체, 주차 등의 이 유 외에도 경제성, 편의성, 패션 등의 이유로 더욱

*Corresponding author, E-mail: mhkim@silla.ac.kr

애용되고 있다. 앞으로도 그 인기는 수그러들 것으로 보이지 않는다. 그러나 지구온난화로 대변되는 현시대의 환경문제는 더 이상 지체할 수 없는 문제로 대두되고 있다. 특히 대도시의 경우 도시환경문제 개선의 한 방법으로 각종 규제에 의한 교통기관의 배기가스, 소음 등에 관한 규제가 날이 갈수록 엄해지고 있다. 원동기부착 스쿠터의 경우도 피할 수 없는 운명이다. 이에 원동기를 교체할 동력기관으로 전동기가 거론되고 있다. 전동차의 경우, 공장 내에서의 이동, 국한된 사유지의 일부 한정된 거리내의 이동수단 등으로 사용되어 왔다. 이에 본 논문은 현재 사용되고 있는 가솔린 스쿠터를 대신하여 그 사양을 만족하는 전동기의 설계에 있어서 필요한 사양들을 결정하는 기법에 관하여 기술한다.

무릇 모든 상업용 자동차의 설계에 있어 자동차 성능과 그 한계치를 미리 안다는 것은 중요한 일이다. 자동차의 성능이 결정되어야 필요한 동력기관인 전동기의 전력, 배터리 사양, 자동차의 무게 등을 설계, 결정할 수 있다. 본 논문에서는 전동스쿠터의 정격설계에 필요한 사양을 계산하기 위하여 필요한 스쿠터의 운동방정식과 힘에 대하여 검토한다. 그리고 미리 주어진 제원 값에 따라 운동방정식에서 전동기설계에 필요한 파라미터 값을 구하는 방법을 설명한다. 수치 모델을 확립하여, 전력소비특성, 전력범위, 최대주행거리 등의 시뮬레이션 결과, 전동기 치수와 성능설계에 필요한 주요 파라미터인 전류 값의 한계치를 구할 수 있도록 되었다. 최종적으로 1.4kw 전동기 모델에서 80%가 넘는 전동시스템의 효율을 수치 시뮬레이션 결과에서 확인하였다.

2. 전동스쿠터의 사양

2.1 전동스쿠터의 사양

개발하고자하는 전동스쿠터의 목표 사양을 다음 Table 1에 보인다.

3. 전동스쿠터의 특성계산

일 W 과 힘 F 는 다음 식으로 정의된다.

$$W = Fd = FVt \text{ [Joule]} \quad (1)$$

Table 1 Performance of electric scooter

Items		Unit	Demanded Value
Scooter weight		kg	90
Rider weight	One person	kg	75
Max velocity	Plat	km/h	50
Battery	Voltage	V	48
	Capability	Ah	40
Mileage	@35km/h	km	90
Gradient	10%	km/h	30
	20%	km/h	20
Acceleration	0-100m	sec	12
Tire diameter	90/90-10	mm	416

$$P = \frac{W}{t} = FV \text{ [W]} \quad (2)$$

설계제원에서 원하는 최고속도 V_m [km/h]로 식 (2)를 변환하여 표시하면 식 (3)과 같이 된다.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{FV_m}{3600} \text{ [kW]} \quad (3)$$

일반적으로 차량이 주행하면 주행을 방해하는 방향으로 저항력이 발생한다. 이를 총칭하여 주행저항(F : Running resistance) 이라고 한다. 이는 다시 구름저항 F_r , 공기저항 F_a , 등판저항 F_g , 가속저항 F_{ac} 의 4 가지로 구분할 수 있다. 이 값들이 커지면 원동기에 큰 출력이 필요하고 반대로 저항이 적으면 작은 출력으로도 주행이 가능하게 된다. 이 저항들은 다음 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$F = F_r + F_a + F_g + F_{ac} \quad (4)$$

주행저항의 각 성분을 Fig. 1에 나타낸다. 그림에서 θ 는 구배 각도, mg 는 무게를 나타낸다.

다음에 이 각 저항 값들을 표현하는 식들을 정의한다.¹⁾

3.1 구름저항(Rolling Resistance, F_r)

바퀴가 수평노면을 굴러가는 경우, 발생하는 저항으로 노면의 굴곡, 타이어 접지부의 변형, 타이어와 노면의 마찰 손실에서 발생하며 바퀴에 걸리는 차량의 하중에 비례한다. 식 (5)로 표현된다.

$$F_r = \mu_r (M_s + M_h)g = \mu_r mg \quad \text{[N]} \quad (5)$$

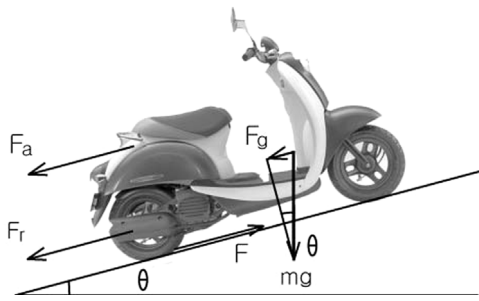


Fig. 1 Running resistances

시뮬레이션에는 도시의 양호한 콘크리트 포장도로를 가정하여 $\mu_r = 0.015$ 로 가정하였다.

3.2 공기저항(Air Resistance, F_a)

자동차의 주행을 방해하는 공기의 저항은 대부분 압력저항이며, 차체의 형상에 따른 기류의 박리에 의해 발생하는 맴돌이 형상 저항과 자동차가 양력에 의한 발생하는 유도저항으로 이야기 할 수 있다. 공기저항은 자동차의 투영면적과 주행속도의 곱에 비례한다.

$$F_a = \mu_a A V^2 = \frac{C_d \rho A V^2}{2} [N] \quad (6)$$

일반적으로 승용차의 경우 C_d 가 0.35~0.55, μ_a 가 0.0017~0.0026, 상용차의 경우 C_d 가 0.40~0.60, μ_a 가 0.0019~0.0029로 알려져 있다. 시뮬레이션에는 스쿠터의 경우 최대한의 저항을 받는다고 가정, $C_d=1$, $\mu_a = 0.005$, 공기밀도는 $\rho = 1.25 \text{kg/m}^3$ 으로 하였다.

3.3 등판저항(Gradient Resistance, F_g)

자동차가 경사면을 올라갈 때 차량 중량에 의해 경사면에 평행하게 작용하는 분력힘의 성분이다. Fig. 1에 보인다. 경사각을 경사면 구배율 %로 표시하면 된다. 계산에는 10%구배에 $\tan\theta=0.1$, 각도 5.7° 의 값을 주었다.

$$F_g = (M_s + M_h)g \sin\theta [N] = mg \sin\theta \quad (7)$$

3.4 가속저항(Acceleration Resistance, F_{ac})

스쿠터가 등속운전을 한다고 가정하면 가속에 필

요한 저항은 없다고 볼 수 있다. $F_{ac}=0$ 으로 둘 수 있다. 본 시뮬레이션에서는 대부분 정속운전에 관한 시뮬레이션을 하였다. 가속능력은 정속운전에 대한 한계치를 계산한 후, 그 값을 넘는 범위를 어느 정도까지 정하느냐에 따라 원동기 출력의 한계가 결정된다. 따라서 본 연구의 시뮬레이션에서는 가속능력은 전동스쿠터의 성능계산에 고려하지 않는다.

4. 전동스쿠터의 주행 특성계산

4.1 전동스쿠터 전력소비특성

다음 Fig. 2는 Table 1에 주어진 전동스쿠터의 목표제원을 사용하여 스쿠터가 평지에서 등속도로 주행한다고 가정하여 시뮬레이션을 한 결과 얻어진 전동기의 전력 소비 특성을 표시한다.

시뮬레이션에는 총 중량 값 165kg, A 는 0.6, μ_r 는 0.012, μ_a 는 0.005의 값을 사용하였으며 배터리의 용량은 Table 1의 주어진 목표 값을 사용하였다. 주어진 주행조건에 따라 $F_g=0$, $F_{ac}=0$ 이다. 먼저 식 (4), (3)에 의하여 주행 전력을 계산하고 주행거리, 주행 시간에 따라 이에 필요한 전력 P 의 변화를 식 (3)식에 따라 주행속도 V 의 함수로 표현하면 Fig. 2의 실선이 된다. Fig. 2에서 횡축은 스쿠터의 주행속도이며 왼쪽의 종축은 그 주행속도에 따른 전력 소비량의 변화이다. 또 그림에는 전동 스쿠터의 효율을 고려하여 예측할 수 있도록 80, 100%의 효율곡선을 계산, 점선으로 표시하였다. 오른쪽 종축은 주행속도

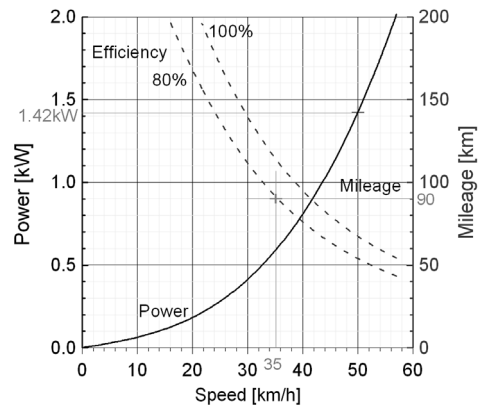


Fig. 2 Power characteristics of electric scooter

에 따른 주행거리 합이 변화이다. 가령 예를 들면, 50[km/h]의 최고속도로 달릴 때 등속주행에 필요한 전력은 1.42kw가 된다. 또, 전동스쿠터시스템의 효율이 80%라면 Table 1의 목표 사양인 평균 속도 35[km/h]로 정속 주행하였을 때 최대한 가능한 주행거리의 합은 90[km]가 됨을 Fig. 2에서 읽을 수 있다.

4.2 전동스쿠터 주행저항 특성

전동스쿠터의 주행저항이 바뀌는 경우의 필요힘을 계산하였다. 파라미터로 구배를 0~30%로 둔다. Fig. 3에서 횡축은 등속 운전의 주행속도, 종축은 식 (4)에서 구해지는 소요되는 힘을 나타낸다. 그림에서 ×점은 주행저항, 속도의 값에서 주어지는 전동기에 필요한 힘의 값이다.

4.3 전동스쿠터 주행특성

Fig. 4의 횡-종축의 단위는 Fig. 3과 같다. Fig. 4에서 점선의 아래 부분은 주어진 배터리의 값과 특성을 사용하여 정속운전에 필요한 최소한의 전력과 가속성능에 필요한 전력을 추가하여 정해진 전동기에 요구되는 총 소요 전력범위를 나타낸다. 즉 설계 전동기에 필요한 최소한의 힘-속도의 관계를 확정한다. 점선은 Fig. 3에서 정한 최대사양의 한계치에 여유 값을 둔 것으로 전동기의 최대성능 설계 값이다. 소요되는 힘의 최대치는 가속성능에서 필요한 주어진 값에 의하여 제한, 결정된다. 그림에서 560[N]의 값을 나타내고 있다.

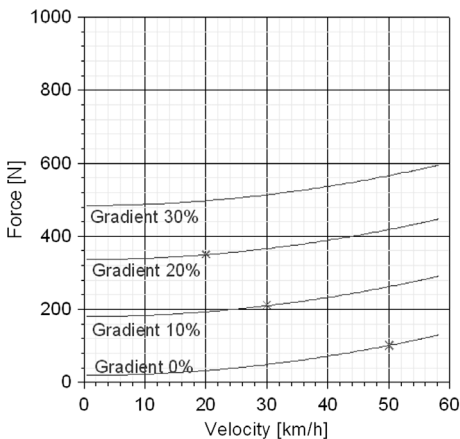


Fig. 3 The change of forces for the gradient resistance

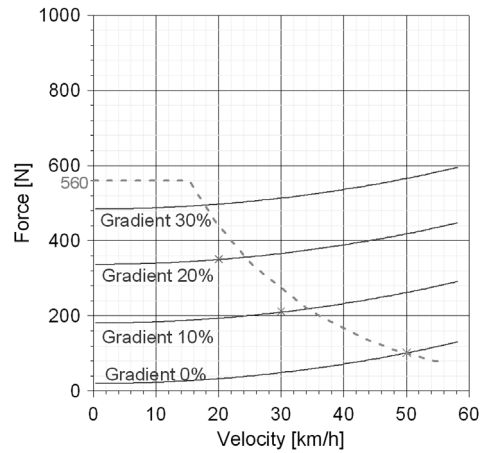


Fig. 3 The demanded force for constant speed running

4.4 타이어의 외경계산

전동기의 회전수, 회전력과 직접적인 관계가 있는 타이어의 사양을 계산한다.

목표타이어 사양의 값이 “90/90-10”이므로 외경은 416mm 이 된다.

5. 전동스쿠터의 전동기 정격사양

5.1 전동기 필요정격 계산

Fig. 4에서 확정지는 전동기의 전력 값을 고려하여 필요한 전동기 사양을 계산 해 본다. 먼저 전동기의 필요 정격 회전수 N_m 은, V_m 값에 주어진 사양 값 50Km/h과 운전자와 스쿠터의 무게에 의한 타이어의 변형을 고려한 α 의 값을 6[mm]로 두면 식 (8)에 의하여 $N_m = 657[\text{rpm}]$ 이 된다.

$$N_m = \frac{V_m \times 1,000 \times 1,000}{2\pi(D_t/2 - \alpha) \times 60} [\text{rpm}] \quad (8)$$

다음은 필요한 토크가 식 (9)에서 구해진다.

$$T_m = \frac{(D_t/2 - \alpha)F}{1,000} [\text{Nm}] \quad (9)$$

전동기의 필요전력은 식 (10)에 따라 계산된다.

$$P_m = 2\pi \frac{N_m}{60} T_m [\text{W}] \quad (10)$$

Table 2에 구해진 전동기의 필요한 정격 사양을 나타낸다. 표에서 감속기 효율은 무시한다.

Table 2 The designed rating of electric motor

output power [kw]	1.43	1.43	1.43
rotational speed [rpm]	657	3,285	6,570
torque [N·m]	20.8	4.16	2.08
reduction ratio	1	5	10

5.2 주행 특성검토

Fig. 5에서 전동기 설계 톨로 결정되는 전동기의 회전수-토크, 전류치 특성곡선 의 값을 표시한다. Fig. 5는 Fig. 4에서 구해진 전동기의 소요전력곡선에서 종축과 횡축(속도-힘)을 바꾸어 힘-속도로 표기한 것이다. 횡축은 전동기의 토크, 왼쪽 종축은 주행속도와 전동기의 회전속도(즉, 감속기가 없을 경우), 오른쪽은 토크와 회전속도에 의하여 결정되는 전동기에 필요한 전류 값이다. 전동스쿠터의 에너지효율은 100%로 가정하였다. Fig. 5에서 회전수 - 토크 특성곡선의 최대토크 값은 113 N·m이다. 이는 Fig. 4에서 주어지는 최대치는 560[N]×반경 = 560×[416/2-6]×10⁻³ = 113[N·m]에 의해 결정되는 값이다. 그림에서 정속운전에 필요한 회전수-토크특성곡선은 실선으로, 그때의 소요전류 값 특성곡선은 점선으로 표시하였다. 주행저항은 구배저항 값을 0%~40%까지 5가지의 경우를 가정하여 주었다. 그림에서 +로 표시된 부분은, 각각의 주행속도에서 필요한 전류 값을 읽을 수 있게 한다. N-46V실선과 그 밑의 가는 실선 48V는 배터리의 출력전압이 46V, 48V로 변화 할 경우에 따른 특성곡선의 변화를 나타낸다. 특성 곡선은 필요한 사양에 따라 전동기의 회전수-토크, 전류치 값을 결정하여 전동기를 설계하는데 사용된다.

전동기는 최대 토크 113[Nm]로 제한되는 곡선의 면적에 해당하는 전력을 갖게 될 것이다. 가령 Fig. 5에서 주행저항이 0인 평지를 정속 50 km로 주행한다면 특성곡선과의 교점에서 약 21 Nm의 토크가 필요하고, 필요한 전류치는 36A가 될 것이다. 그리고 동일한 출력조건에서 도로의 구배가 20%로 바뀌면 특성곡선과 주행저항곡선의 교점에서 속도는 35.6km/h로 바뀌고 전동기에 필요한 토크는 약 70 N, 전류는 94A가 된다. 필요한 전류치가 주어지면 주어진 배터리 사양으로 주행거리의 값을 구할 수 있다.

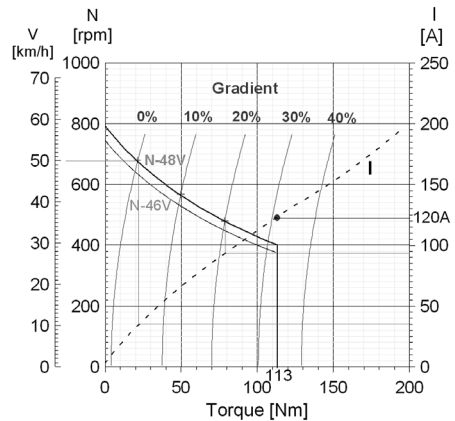


Fig. 5 Maximum performance in constant speed

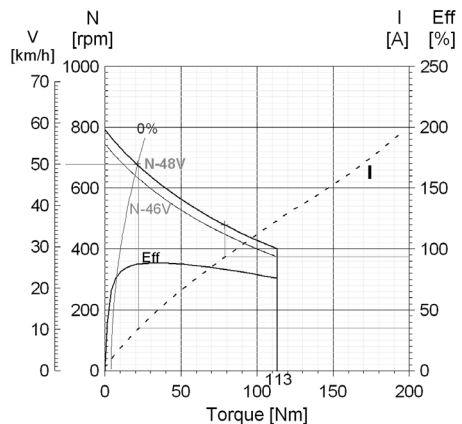


Fig. 6 Efficiency of the electric scooter system in constant speed

5.3 전동스쿠터 성능

주어진 전동스쿠터의 목표 사양에 따라 전동기 설계 톨을 사용하여 설계한 결과와 효율을 Fig. 6과 Table 2에 보인다. 효율은 입력으로 N-48V를 사용하였을 때의 전압×전류를, 출력으로 회전속도×토크를 취하였을 때의 계산 값이다. 단, 입력전압에는 배터리 출력전압에 전력변환기의 전압강하 3V (= 1.5V×2)를 고려한 값을 사용하였다. 효율곡선 (Eff)에서 회전수 360rpm부근에 약 80%가까운 값이 얻어짐을 확인할 수 있다. Table 3의 사양은 Fig. 5에서 보여주는 목표치 범위 내에서 설계한 결과이다. 전동기의 치수 결정에 필요한 값들을 확인 할 수 있다. 가속성능과 함께 고려되어야 할 사항으로 등판 중 정지 후 재 등판 할 경우 정속 주행보다 더 많

Table 3 Obtained designed values

Items		Unit	Demanded value	Designed results	Motor current
Scooter weight		kg	90	90	
Rider weight	one person	kg	75	75	
Maximum velocity	plat	km/h	50	50	36A
Battery	voltage	V	48	48	
	capability	Ah	40	40	
Mileage	@35km/h	km	90	94.5	14.6A
Gradient	10%	km/h	30	41.8	66A
	20%	km/h	20	35.6	94A
Acceleration	0-100m	sec	12	*)	120A
Tire diameter	90/90-10	mm	416	416	

*) 가속성능의 경우, Fig. 5에서 주어진 범위보다 어느 정도의 여유 값을 주느냐에 따라 결정된다.

은 동력이 필요하나 구체적인 값은 가속성능의 범위와 여유 값의 결정에 따라 정해진다.

6. 결 론

전동스쿠터에 주어진 목표 사양에 따라 최소한의 정격을 갖는 전동기의 정격 전력 값을 계산하고, 회전수-토크 값 등을 계산하는 방법을 제시하여 전동기설계에 필요한 구체적인 변수 값으로 전력, 전류 값들과 효율을 확인할 수 있도록 하였다

References

- 1) J. Larminie, Electric Vehicle Technology Explained, Wiley, New York, 2003.
- 2) K. Yeom, "Optimization of the Parallel Diesel Hybrid Vehicle," Transactions of KSAE, Vol.16, No.6, pp.26-32, 2008.
- 3) Y.-S. Cho, "Measurements and Numerical Analysis of Electric Cart and Fuel Cell to Estimate Operating Characteristic of FCEV," Transactions of KSAE, Vol.14, No.5, pp.65-72, 2006.
- 4) A. Kusko, "Brushless DC Motors Using Unsymmetrical Field Magnetization," Conf. Rec. IEEE Ind. Applicat. Soc. Ann. Mtg., pp.774-780, 1986.
- 5) C. Bergmann, "Direct Digital Control of a Self-controlled Synchronous Motor with Permanent Magnet," 1st European Conf. on Power Electronics and Applications, pp.3269-3273, 1985.
- 6) R. Hodkinson, Light Weight Electric/Hybrid Vehicle Design, Butterworth - Heinemann, Burlington, 2001.
- 7) P. Bolognesi, "A Modular Simulator for Hybrid-electric Vehicles," Proceedings of the 18th International Electric Vehicle Symposium, EVS 18, p.1, 2001.