

모터 및 배터리 용량에 따른 전기스쿠터 성능해석

길 범 수* · 김 강 출

한국에너지기술연구원 산업효율센터

The Analysis of a Electric Scooter's Performance through Motor and Battery Capacity Changing

Bumsoo Kil* · Gangchul Kim

Industrial Energy Efficiency Center, KIER, 71-2 Jang-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-764, Korea

(Received 8 March 2010 / Accepted 31 March 2011)

Abstract : The climate change due to the increased consumption with fossil fuel and rise of the oil price have been serious global issues. Automobile industry consumes 30% of the oil every year and causes air pollution and global warming by the exhaust emissions and carbon dioxide (CO₂). The demand of two-wheeled vehicle increases every year due to the parking and traffic problem caused by the increased automobiles in the urban area. Approximately 50,000,000 two-wheeled vehicles were produced in 2008. The development and sales of the hybrid two-wheeled vehicle industry become active due to its increased market demands. In this paper, the change of the motor and battery efficiency, driving distance, hill climbing ability with the change of the motor capacity was analyzed. Simulation of the peculiarities in urban driving schedule(World-wide Motorcycle Test Cycle(WMTC), Manhattan driving schedule), constant speed(10 km/h, 35 km/h) of small electronic two-wheeled vehicle was also carried out. Through the simulation result, appropriate capacities of the motor and battery for urban driving was acquired.

Key words : Electric two-wheeled vehicle(전기이륜자동차), Scooter(스쿠터), Motorcycle(오토바이), Li-ion battery(리튬이온전지), Permanent magnet synchronous motor(영구자석동기모터)

Nomenclature

a : vehicle acceleration, m/s²
 A : frontal area of a vehicle, m²
 b : longitudinal distance from front axle to center of gravity, m
 c : longitudinal distance from front center of gravity to rear axle, m
 C_D : aerodynamic drag coefficient
 D_A : aerodynamic drag force, kg·m/s²
 h : center of gravity height, m
 L : wheelbase, m

W : weight of the vehicle, kg
 θ : grade angle, °
 W_f : dynamic weight on front axle, kg
 W_r : dynamic weight on rear axle, kg
 V : vehicle speed, km/s²
 ρ : density of air, kg/m³

1. 서론

화석연료 사용 증가로 인한 지구 기후변화와 화석연료 고갈에 따른 유가상승의 문제가 전 세계적으로 심각하게 제기되고 있다. 이에 국제사회는 1992년 UN 기후변화협약(United Nations Framework

*Corresponding author, E-mail: apollon12@nate.com

Convention on Climate Change, UNFCCC)을 체결하였으며 기후변화 방지를 위한 방법을 모색하고 있다. 이 중 자동차 산업은 매년 전 세계 석유 에너지의 30% 이상을 소비하며 배기가스에 의한 대기오염, 이산화탄소 배출에 의한 지구온난화 등의 문제를 야기하고 있다.¹⁾

급격한 자동차의 증가로 인하여 도심을 중심으로 교통난과 주·정차 문제가 심각해짐에 따라 이륜자동차의 이용은 크게 증가하고 있다. 2008년 전 세계 이륜자동차 시장은 5,000만대 규모를 차지하고 있으며 매년 급격한 성장을 이루고 있다.

이륜자동차(Two-wheeled vehicle)는 스쿠터(Scooters), 모페드(Mopeds), 오토바이(Motorcycles) 및 자전거(Bicycles) 등으로 구분 지을 수 있다. 저공해·친환경 이륜차는 하이브리드(Hybrid) 이륜자동차, 연료전지(Fuel-cell) 이륜자동차 및 전기(Electric) 이륜자동차 등으로 개발되거나 혹은 개발 완료되어 생산 판매되고 있다.

전기이륜차는 배터리(Battery)를 에너지원으로 사용하고 모터의 구동력으로 주행하기 때문에 배출가스가 발생하지 않는 장점을 가지고 있다. 그러나 전기에너지를 공급하는 배터리의 긴 충전시간, 배터리의 높은 가격 및 짧은 배터리 수명 등의 단점을 가지고 있다. 이러한 한계에도 불구하고 단거리 위주의 주행패턴의 특성을 갖는 이륜차의 특성으로 인해 전기이륜차에 대한 수요가 증가하고 있다. 스쿠터, 모페드 및 오토바이 등의 소형 엔진을 동력원으로 사용하고 있는 이륜차를 중심으로 전기이륜차 개발 및 판매가 이루어지고 있다.

본 연구에서는 도심에서 운행되고 있는 전기스쿠터를 대상으로 모델링하여 도심주행(Urban driving schedule) 및 정속주행(Constant speed driving schedule)에서의 주행특성을 시뮬레이션(Simulation) 하였고, 모터 및 배터리 용량 변화에 따른 가속성능, 등판성능(Hill climbing ability), 주행거리 변화, 에너지 효율 및 모터 효율 등의 변화에 대해 비교 및 분석하였다.

2. 전기스쿠터

스쿠터는 소형 오토바이의 한 종류이며 바퀴의

지름이 보통의 오토바이보다 작고 소형의 기관(50cc~600cc)을 좌석 아래에 장착하고 있다. 장거리 및 고속주행으로는 적합하지 않으나 소형의 차체, 경제한 주행성능 및 주행조작의 간편성 등의 특성으로 인하여 도시의 가까운 지역의 이동에 주로 사용되어 지고 있다. 우체국 이륜자동차의 주행거리 기록계 관독자료에 따르면 우체국 이륜자동차 약 11,000대를 분석한 결과 1대당 1일 주행거리는 평균 약 28km로 조사되어²⁾ 주로 짧은 거리를 주행하는 것으로 나타났다.

또한 도심 주택가를 중심으로 주행하는 소형스쿠터의 특성으로 인해 배기가스에 의한 대기오염이 문제가 된다. 2007년 12월 기준 이륜자동차에서 배출되는 대기오염물질별 배출량의 경우 CO가 연간 57,182톤으로 가장 많이 배출되는 것으로 조사되었으며, THC가 4,357톤, NOx가 1,229톤으로 산정되었다.³⁾ 이중 50cc 미만의 엔진이륜차는 승용차 대비 1.5~4배의 유독물질을 배출하고 있으나 배출가스 검사 없이 유통되고 있으며, 차량 등록절차가 없어 정확한 통계 자료가 전무한 실정이다. 따라서 Table 1과 같이 완성차 업체의 생산 현황 및 무역협회의 수입현황 자료를 토대로 추정하였을 때 매년 4만대 이상이 시장에 공급되며, 국토해양부에서는 현재 약 45~50만대의 50cc미만 스쿠터가 운행되고 있는 것으로 추정된다.

현재 세계적으로 개발 및 보급 추세인 전기이륜차는 향후 강화될 국제환경규제, 친환경제품에 대한 소비 증가 및 환경교육에 의한 소비자 인식변화 등에 대응하여 기존의 엔진방식에 비하여 저소음, 무진동, 배기가스 및 VOC배출이 없어 친환경적인 우수한 장점을 가지고 있다. 이러한 장점으로 인하여 EBWR(Electric Bikes Worldwide Reports)에 따르면 Table 2와 같이 전 세계 전기스쿠터의 판매량은 2007년 115,000대에서 2011년 1,209,500대 수준으로 연평균 80%의 급격한 시장성장이 예상되고 있다. 현재 전기스쿠터의 가장 큰 판매시장은 중국과 인도로 2008년 전 세계 판매량 214,000대 가운데 93%에 해당하는 200,000대 가량이 판매된 것으로 나타났다.⁴⁾

전기이륜차는 중국, 대만, 일본 등을 중심으로 개발 및 생산되고 있다. 평지 지형이 대부분인 중국의

Table 1 Sales status of 50cc scooter in Korea (단위 : 대)

Year	대림	S&T	수입	Total
2006	15,304	8,645	18,322	42,271
2007(1~10)	11,593	6,532	17,885	36,010
Total	26,897	15,177	36,207	78,281

(출처 : 대림자동차공업, S&T모터스, 무역협회, 2008)

Table 2 World electric scooter sales(Estimates) (단위 : 대)

Year	2007	2008	2009	2010	2011
China	75,000	120,000	250,000	300,000	400,000
India	30,000	80,000	120,000	200,000	450,000
Japan	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Europe	4,000	4,000	5,500	7,000	8,500
Taiwan	1,000	1,000	100,000	120,000	200,000
SE Asia	1,000	2,000	5,000	50,000	100,000
USA	3,000	6,000	8,000	20,000	50,000
Total	115,000	214,000	489,500	698,000	1,209,500

(출처: Electric bikes worldwide reports, 2009 ninth edition)

경우 소형 모터와 납축전지를 주로 사용하고 있다. 현재 생산, 판매되고 있는 전기이륜차의 기본적인 사양에 대해 제조사 홈페이지를 참조하여 Table 3과 같이 정리하였다.

3. 전기스쿠터 모델링

3.1 모터

전기스쿠터의 모터(Motor)는 배터리에서 발생하는 전기에너지를 기계에너지로 변환하여 전기스쿠터의 운행에 필요한 동력을 공급한다. 또한 모터는 전기스쿠터 운행 중 제동 시 회생제동(Regenerative braking)을 실시하여 기계에너지를 전기에너지로 변환하여 배터리에 전기에너지를 공급한다.

Table 3 Specifications of the electric scooter

Company	Shanghai	Raido	Electrotherm	Eco-car
Model	TDR0116Z	R-25	Yo Electron	BIKY NEO
Curb weight (kg)	40	60	73	85
Battery	lead-acid	lead-acid	lead-acid	Li-polymer
Weight of battery (kg)	26	15	-	15
Nominal voltage (V)	48	24	48	48
Nominal capacity (Ah)	14	22	20	40
Charge time (h)	3~8	5	6~8	3~4
Motor (W)	250	800	250	1,500
Maximum speed (km/h)	20~25	25~30	25	65
Range (km)	45~60	35	70~75	120

모터는 구동 전원의 형태에 따라 크게 직류(DC, Direct Current) 모터와 교류(AC, Alternating Current) 모터로 구분할 수 있다. 직류 모터는 고정자(Stator), 회전자(Rotor), 브러시(Brush) 및 정류자(Commutator) 등으로 이루어져 있고, 회전자에 흐르는 전류의 방향을 전환함으로써 자력의 반발, 흡인력으로 회전자를 회전시켜 기계적 동력을 생성시키는 모터이다. 직류 모터의 특징으로는 높은 토크 대 회전자 관성 비를 가지고 있어 응답속도가 매우 빠르며, 교류 모터에 비해 가격이 저렴하다. 직류 모터는 고정자 자장을 형성하는 방법에 따라 영구자석(Permanent magnet), 분권(Shunt wound), 직권(Series wound), 그리고 복권(Compound wound) 등 4가지 종류로 구분된다.

본 연구에서는 Unique Mobility Inc.에서 설계 제작한 500W, 1,000W 및 1,500W급 영구자석 모터를 사용하였다. Fig. 1은 1.5kW급 모터의 모터 토크, 모터 회전속도 그리고 모터 효율(Motor efficiency)에

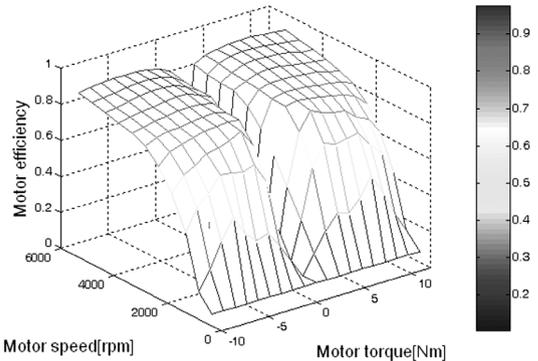


Fig. 1 3D motor map(1.5kW)

Table 4 Classification of rechargeable battery

		Lead acid	Li-ion		
			LIB	LIPB	LPB
Cell voltage(V)		2	3.6	3.6	2.0~3.6
Energy density	(Wh/kg)	28~33	120	100	>200
	(Wh/L)	70~100	280	220	-
Auto discharger (%/month)		5~10	<10	≪10	≪10
Memory effect		No	No	No	No
Charge and discharge cycle		300	1,200	1,000	>200
Cost(\$/Wh)		0.03~0.1	0.5-0.9	1-2	1-2

(출처: http://www.kkpc.re.kr/powergraphy/Li_Battery.htm)

(LIB : Lithium ion battery, LIPB : Lithium ion polymer battery, LPB : Lithium polymer battery)

대한 3D 모터 맵(Motor map)을 보여주고 있다. 모터의 토크는 9.868Nm(1.5kW), 5.967Nm(1kW), 2.295Nm(0.5kW)의 값을 갖는다.

3.2 배터리

전기스쿠터의 에너지원으로 배터리(Battery)를 사용하고 있으며 주로 사용되는 2차 전지는 Table 4와 같이 납축전지(Lead acid battery)와 리튬이온전지(Lithium ion battery)가 사용되고 있다. 전기스쿠터의 경우 50cc급의 소형이 대부분을 차지하고 있기 때문에 배터리 무게에 따른 영향을 많이 받는 특성이 있다. 따라서 한국지형에 맞는 성능을 발휘하기 위해서 높은 작동전압과 높은 에너지 밀도를 가지는 장점이 있는 리튬이온전지가 주로 사용되고 있다. 리튬이온전지는 기존의 납축전지와 동일한 C.V(Constant Voltage) 방식을 사용하기에 전지팩 내부에 약간의 회로를 추가한다면 기존 납축전지 충전기를 그대로 사용할 수 있다는 장점이 있다.⁵⁾

리튬이온전지는 정극(Cathode), 부극(Anode), 전해질(Electrolyte) 및 분리막(Separator) 등으로 구성된다. 정극(양극) 소재물질로는 LiCoO₂, LiNiO₂, LiMn₂O₄ 등이 주로 사용되고 있으며,⁶⁾ 부극(음극) 소재물질로는 주로 흑연이나 카본계열의 재료가 사용되고 있다.

본 연구에서는 Saft Inc. 48V의 20Ah(14.0kg), 40Ah(22.8kg), 60Ah(36.2kg) 및 80Ah(47.0kg) 리튬이온전지 4종류를 사용하였다. 리튬이온전지는 반복

사용되는 횟수가 많고, 자기 방전이 작으며, 메모리 효과가 없는 등 여러 가지 장점이 있는 반면에 극단적인 과충전이나 과방전시의 안전성에 문제가 발생하므로 배터리 충전 수준을 나타내는 충전량(SOC, State of Charge)의 값을 제한해야 한다. 따라서 본 연구에서는 SOC의 값을 완전충전상태 1(100%)에서 최소 0.3(30%)로 제한을 두고 시뮬레이션 하였다.

3.3 전기스쿠터 모델 및 동역학

전기스쿠터는 50cc급 스쿠터를 대상으로 모델을 정하였고, 그에 따른 전기스쿠터의 제원은 Table 5와 같이 정하였다. 공차중량 92.8kg, 차량의 전방면적 0.55m², CD계수 0.9⁷⁾로 설정하여 시뮬레이션 하였다.

본 연구에서는 경사도에 따른 전기스쿠터의 등판 성능을 시뮬레이션 하였다. 동역학적으로 경사도가 전기스쿠터에 미치는 영향을 알기 위해 전기스쿠터 모델에 작용하는 중요한 힘을 Fig. 2에 표기하여 본 연구 모델에 적용하였다. 전기스쿠터 모델에 작용

Table 5 Specifications of the electric scooter

Vehicle weight(kg) (without battery)	70
C_D	0.9
$A(m^2)$	0.55
Motor(kw)	0.5, 1.0, 1.5
Battery	48V, 40Ah(22.8kg, Li-ion)
Passenger	1(65kg)
Wheel(inch)	12

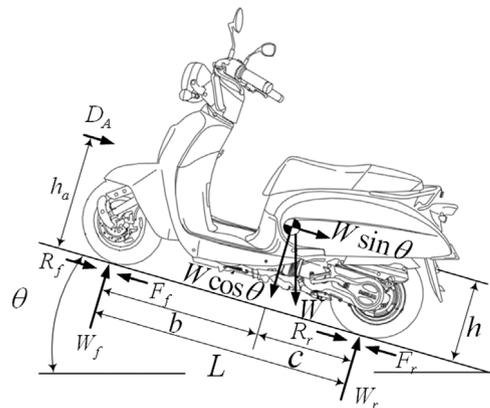


Fig. 2 Electric scooter model

하는 부하는 Newton의 제2법칙을 적용하여 간단히 유도 할 수 있다.⁸⁾ 경사도가 차축 부하에 미치는 영향을 고려하기 위하여 정지상태의 앞차축과 뒷차축에 가해지는 부하는 식 (1)과 (2)로 나타내었다. 정지 상태에서 가속을 하였을 경우 앞차축에서 뒷차축으로 부하가 일정부분 이동하게 되고 식 (3), (4)와 같다.

$$W_f = \frac{W}{L}(ccos\theta - hsin\theta) \tag{1}$$

$$W_r = \frac{W}{L}(bcos\theta + hsin\theta) \tag{2}$$

where g : Acceleration of gravity (m/s^2)

$$W_f = \frac{W}{L}\left(ccos\theta - hsin\theta - \frac{ha}{g}\right) \tag{3}$$

$$W_r = \frac{W}{L}\left(ccos\theta - hsin\theta + \frac{ha}{g}\right) \tag{4}$$

4. 시뮬레이션

전기이륜차의 성능을 평가하기 위한 방법으로 앞에서 기술한 모델을 적용하였다. 본 연구에서는 MATLAB과 ADVISOR 2002를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

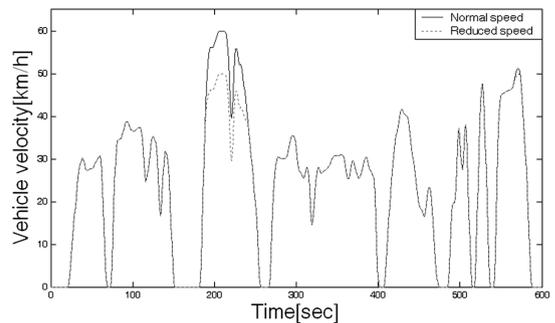
4.1 주행 및 등판 성능 시뮬레이션

본 연구에 적용된 전기이륜차의 시뮬레이션은 주행모드를 적용하여 주행거리 및 에너지효율을 분석하였고, 등판각도 및 가속구간을 설정하여 등판능력 및 가속성을 분석하였다.

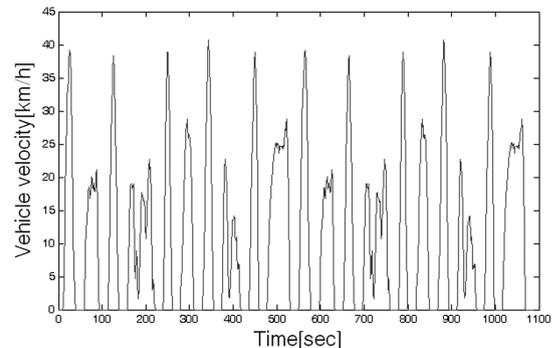
주행모드는 정속주행모드(Constant speed) 10km/h, 35km/h 2가지와 도시주행모드(Urban driving schedule) 2가지를 적용하였다. 정속주행모드는 일정한 속도로 주행하여 최대 SOC 값 1(100%)에서 최소 SOC 값 0.3(30%)이 되기까지 주행하였다. 도시주행모드(Urban driving schedule)는 WMTC(World-wide Motorcycle Test Cycle)와 맨해튼 주행모드(Manhattan driving schedule)를 적용하였다. WMTC는 이륜차에 적용되는 주행모드이며, 본 연구에서 적용한 스쿠터에 적용하기 어려운 고속영역이 포함되어 있으므로 고속영역 속도를 일정비율 낮춘 WMTC

Table 6 Urban driving schedule

Driving schedule	WMTC reduced	Manhattan
Time	600sec	1,089sec
Distance	3.933km	3.32km
Max speed	50.00km/h	40.72km/h
Avg speed	23.6km/h	10.98km/h
Max acceleration	2.00m/s ²	2.06m/s ²
Max deceleration	-2.00m/s ²	-2.5m/s ²
Avg acceleration	0.696m/s ²	0.54m/s ²
Avg deceleration	-0.668m/s ²	-0.67m/s ²
Idle time	102sec	394sec



(a) WMTC driving schedule



(b) Manhattan driving schedule

Fig. 3 Urban driving schedule

reduced를 적용하였다. 맨해튼 주행모드는 뉴욕 맨해튼 지역의 버스주행 패턴을 분석하여 2000년에 제작한 모드이다. 전기스쿠터의 경우 매우 복잡한 도심구간을 연속적으로 주행하는 특성을 갖고 있다. 따라서 기존의 주행모드보다 가속과 감속구간을 갖고 있는 맨해튼 모드를 적용하였다. 도시주행모드는 Table 6과 같이 구성되어 있으며, Fig. 3으로 나타낼 수 있다.

등판능력 및 가속성을 평가하기 위해 각각의 모드를 적용하였다. 가속성의 경우 초기 0km/h에서 30km/h에 도달하는 시간 및 가속도를 측정하였다. 등판능력의 경우 환경부에서 제시한 ‘2007년 전기이륜차 시행보급사업 성능시험기준’에 명시되어 있는 기준을 적용하여 주행평균속도 15km/h, 20km/h의 속도로 1km 이상 주행이 가능한 경사도를 측정하였다.

4.2 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 전기스쿠터를 모델링하여 시뮬레이션을 통해 가속성능, 등판능력, 주행거리 및 에너지효율 등의 결과를 도출하였다.

가속성능과 등판능력은 Table 7과 같은 결과를 얻었다. 가속성능 시뮬레이션은 0~30km/h의 속도를 달성하는 시간과 가속도를 측정하였다. 가속성능은 1,500W(4sec, 2.084m/s²), 1,000W(7sec, 1.191m/s²), 500W(18sec, 0.463m/s²)의 순으로 나타났다. 등판능력의 경우 1,500W의 모터를 장착한 전기스쿠터가 25%(15km/h), 23%(20km/h)의 가장 좋은 등판성능을 보였다.

전기스쿠터의 주행성능에 대한 시뮬레이션은 정속주행모드와 도시주행모드를 시행하였다. 전기스쿠터의 배터리용량을 48V, 40Ah로 고정하고 전기모터의 용량을 500W, 1,000W, 1,500W로 증가시킬 경우 주행거리는 Fig. 4와 같이 나타났으며, 그에 따른 전기스쿠터의 에너지효율은 Fig. 5와 같았다.

주행거리의 경우 전기모터의 용량에 상관없이 35km/h, WMTC reduced, 10km/h, 맨해튼 주행모드 순으로 높게 나타났고, 에너지효율 또한 35km/h, WMTC reduced, 10km/h, 맨해튼 주행모드 순으로 에너지효율이 좋은 결과가 나왔다. 모터의 용량이 증

Table 7 Results of simulation from changing motor

Motor	Acceleration (0~30km/h) (Time : 18s)	Hill Climbing Ability	
		15km/h	20km/h
500W	0.463m/s ² (Time : 18s)	15km/h	7%(4.00°)
		20km/h	6%(3.43°)
1,000W	1.191m/s ² (Time : 7s)	15km/h	16%(9.09°)
		20km/h	15%(8.53°)
1,500W	2.084m/s ² (Time : 4s)	15km/h	25%(14.04°)
		20km/h	23%(12.95°)

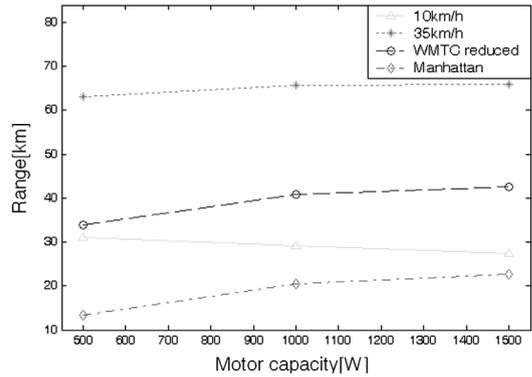


Fig. 4 Electric scooter driving range from changing motor capacity(Li-ion battery: 48V, 40Ah, SOC:100% → 30%)

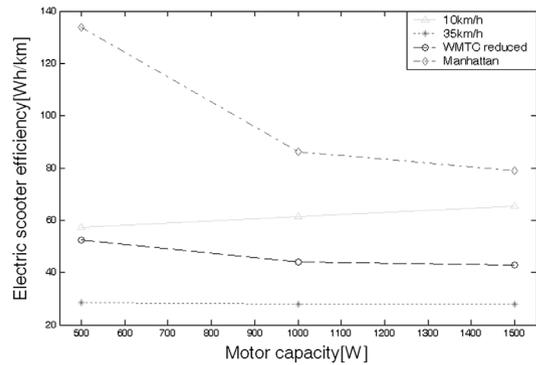


Fig. 5 Electric scooter efficiency of changing motor capacity (Li-ion battery: 48V, 40Ah, SOC:100% → 30%)

가함에 따라 주행거리 및 에너지효율이 증가하는 모습을 보이고 있으나 10km/h 정속주행의 경우 모터의 용량이 500W일 때 30.996km, 1,500W일 때 27.311km로 3.685km(11.889%)가 감소하였다. 또한 모터용량 500W일 때 WMTC reduced, 맨해튼 주행모드의 고속영역 및 급가속구간에서 시뮬레이션 입력력을 따라가지 못하는 경우가 발생하였다.

전기스쿠터의 모터용량을 1,500W로 고정된 상태에서 배터리의 용량을 48V의 20Ah, 40Ah, 60Ah 및 80Ah로 증가시켜 Fig. 6, 7과 같은 결과를 도출하였다. 배터리 용량의 증가는 주행거리의 증가로 나타나지만 배터리 무게증가로 인해 에너지효율은 악화되었다. WMTC reduced 일 때 20Ah에서 80Ah로 4배 증가시켰을 경우 주행거리는 21.681km에서 82.003km로 3.782배 증가하였다. 이는 배터리 무게상승으로

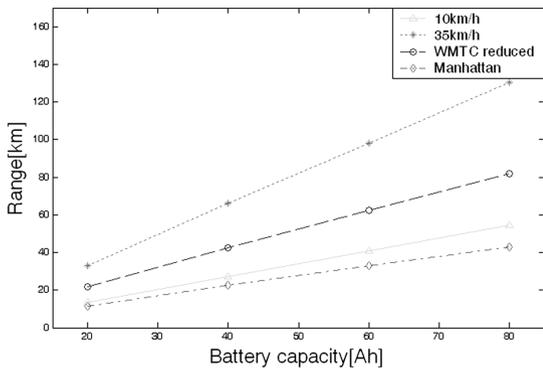


Fig. 6 Electric scooter driving range from changing battery capacity (SOC:100% → 30%, Motor 1.5kW)

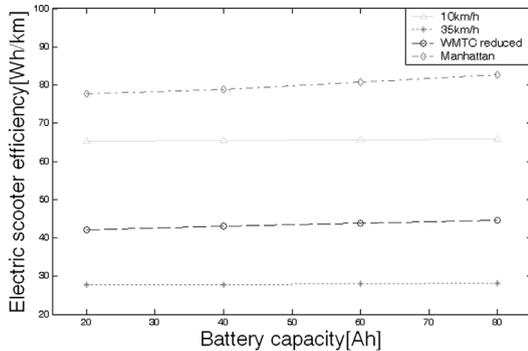


Fig. 7 Electric scooter efficiency of changing battery capacity (SOC:100% → 30%, Motor 1.5kW)

인한 전기스쿠터 효율 악화로 20Ah일 때 42.140Wh/km, 80Ah일 때 44.510Wh/km로 나타났다.

5. 결론

본 논문에서는 전기모터(500W, 1,000W, 1,500W) 및 배터리(20Ah, 40Ah, 60Ah, 80Ah)의 용량에 변화를 주어 각각의 주행조건에서의 전기스쿠터에 대한 시뮬레이션을 실시하였다.

- 1) 전기스쿠터의 모터 용량에 변화를 주어 각각의 가속성능과 등판능력을 비교·분석하였다.
- 2) 전기스쿠터의 모터 및 배터리의 용량에 변화를 주어 정속주행 및 도심주행모드에서의 주행거리 및 에너지효율을 비교·분석하였다.
- 3) 배터리 용량의 증가는 주행거리의 증가로 나타나지만 배터리 무게의 증가로 에너지효율은 악화되었다. 따라서 보다 고효율 배터리의 개발이

필요하며, 동시에 주행거리 연장(Range-extender)을 위해 소형 에너지 공급 장치(Power pack)의 연구가 이루어져야 하겠다.

- 4) 본 연구에서 실시한 시뮬레이션을 바탕으로 도로에서의 실차주행 실험 및 동력계를 이용한 성능실험을 통해 보다 신뢰성 높은 연구가 앞으로 계속되어야 하겠다.

References

- 1) R. K. Pachauri, Climate Change 2007-Synthesis Report, IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) Secretariat, pp.1-73, 2008.
- 2) B. Y. Shin, 2006 Estimation of Vehicle Kilometers, Korea Transportation Safety Authority, p.239, 2006.
- 3) J. H. Lim, C. S. Lim, Y. S. Lim, S. M. Lee, H. J. Kang and H. M. Kim, "Calculation of Air Pollutant Emission Factors for Motorcycles," Korean Society for Atmospheric Environment, Proceeding of the 48th Meeting of KOSAE, pp.171-172, 2009.
- 4) F. E. Jamerson and E. Benjamin, Electric Bikes Worldwide Reports 2009 Ninth Edn., Electric Bicycle Battery Company, pp.7-12, 2009.
- 5) Y. G. Gang, H. K. Kweon, M. S. Seo and C. Y. Park, "Development of a New Li-ion Pack-battery for Improving the Electrical Properties," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.8, No.2, pp.90-95, 2009.
- 6) J. H. Park, J. S. Kim and K. S. Yoo, "Electrical Characteristics of Cathode $\text{Li}(\text{Mn}_{1.8}\text{M}_8)\text{O}_4$ Substituted by Transition Metals in Li-ion Secondary Batteries," Journal of the Korean Ceramic Society, Vol.37, No.5, pp.466-472, 2000.
- 7) B. Lin, "Conceptual Design and Modeling of a Fuel Cell Scooter for Urban Asia," Princeton University School of Engineering and Applied Sciences Department of Mechanical and Aerospace Engineering, pp.160-165, 1999.
- 8) T. D. Gillespie, Fundamentals of Vehicle Dynamics, SAE, USA, 1992.