

특집 : 전기 추진 시스템(III) - 전기자전거 / 전기이륜차

전기자전거용 구동시스템 개발동향

김 태 형*, 이 상 훈**

(대구기계부품연구원 지능형 자동차연구팀 *선임연구원, **팀장)

1. 서론

화석연료기반의 운송수단은 인류에게 많은 편의를 가져왔지만 이와 함께 대기오염, 자원의 확보를 위한 인한 사회적 갈등을 야기하여 왔다. 특히 최근 각종 대지진, 쓰나미, 폭설 등 환경재앙이 빈번하게 발생하면서 환경오염에 대한 경각심이 고조되고 있으며 국제 정세의 불안정으로 인한 유가급등과 같은 경제적 불안을 초래하고 있다.

이러한 문제의 대안으로 이산화탄소 배출이 없으며 편의성이 높은 친환경 운송수단인 전기자전거에 대한 관심이 높아지고 있다. 이중 전기자전거는 대표적인 녹색 근거리 생활 이동수단으로써 국내외적으로 보급과 활성화를 위해 힘을 쓰고 있다. 최근 자전거전용 도로망의 확충, 공공자전거보급 등 자전거 이용 인프라의 구축과 함께 충전설비구축이 시범적으로 이루어지면서 저변확대를 위한 노력이 이루어지고 있다. 본지에서는 전기자전거에 대한 전반적인 내용과 함께 현재 시장 및 기술동향을 살펴, 향후 근거리 녹색이동수단을 위한 전

기 자전거 구동시스템에 대한 기술개발 방향을 살펴보고자 한다.

2. 전기자전거의 개요

2.1 전기자전거의 정의

전기자전거는 인력으로 구동되는 자전거에 전동기와 축전기를 추가하여 보조동력원 또는 주동력원으로 사용하는 운송수단이다.

전기자전거는 그림 1과 같이 인력과 전동력이 함께 작용하므로 하이브리드 구동시스템이며, 통상적으로 페달링과 전동력이 함께 차륜에 작용하는 병렬식에 대표적이다. 전기 오토바이 전기 자동차와 달리 전기자전거는 인력을 함께 사용하기 때문에 작은 용량의 배터리를 사용하여도 무방하고 방전 시에도 페달링에 의해 운전이 가능하므로 다른 전동운송수단에 비해 낮은 가격으로 구입이 가능하며, 특별한 자격이 없어도 누구나 탈 수 있기 때문에 보급이 매우 용이하다. 또한 가

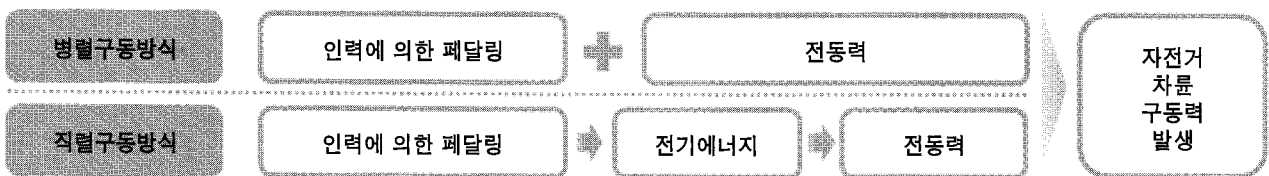


그림 1 전기자전거의 정의

볍고 주행환경의 제약이 적어 복잡한 도심지 이동에 유리하며 일반 자전거에 비해 힘이 적게 들기 때문에 노약자 및 부녀자의 이동편의성 향상에 큰 도움을 줄 수 있다.

2.2 국내외 시장현황

전기 자전거의 이용은 중국, 대만, 일본을 대표로 하는 아시아 시장을 중심으로 증가하는 추세이다. 아시아-태평양 시장은 2009년 기준으로 2,439만대 규모의 시장이며 연평균 8.9%로 성장하고 있다. 특히 중국은 이륜 전기운송수단의 가장 큰 시장으로 2009년에는 글로벌 시장의 98%가 중국에서 형성되었다.

아시아 이외 지역에서는 서유럽이 가장 큰 이륜 전기운송수단 시장을 갖출 것으로 보이는데 2009년 100만대의 시장을 형성하였고 앞으로도 급격히 증가할 것으로 예상된다. 북미 지역은 지형조건과 자동차 중심의 생활패턴으로 인해 활성화되지 못하였으나 2009년 17만대의 시장을 형성하고 있으며 역시 계속 증가하는 추세에 있다.

국내 시장은 연간 1만대 수준이며 아직 지자체 및 정부기관 등 공공기관에서 시범을 위한 보급외의 소수의 소비자를 제외하고는 이용이 활성화되지 않은 실정이다.⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

2.3 국내외 전기자전거 기술개발수준

전기자전거에 관련된 기술수준으로는 일본이 세계적이며 오래전부터 상품화를 수행해 온 만큼 안정성 또한 뛰어나다. 전기자전거의 동력보조시스템(Power Assist System, 이하 PAS)은 일본을 중심으로 개발되었으며, 글로벌 기업인 야마

하, 산요, 파나소닉의 전기자전거는 다른 제품에 비해 완성도가 높고 효율성도 우수하다. 그러나 일본의 전기자전거는 구동을 위한 전동기의 성능에 의해 우수하다기 보다는 기구적 우수성이 높은 형태이며 레저용 보다는 생활형에 가까운 형태를 가진다.

유럽은 최근 전기자전거에 대한 이용이 증가하고 있는 추세이다. 대부분의 업체들이 독자적인 기술개발을 통해 상품을 출시하는 것보다는 기존 자전거 생산업체들이 모듈화 된 전동시스템을 납품받아 자신의 브랜드에 장착하여 판매하는 방식을 많이 취하고 있다.

중국은 연간 2400만대의 소비량을 뒷받침하듯 생산력은 높으나, 이에 비해 제품의 품질과 기술의 완성도는 높지 않다. 지형조건상 평지가 많아 비교적 높은 성능을 필요로 하지 않으며 이는 전기자전거를 스쿠터나 오토바이에 비해 저렴하게 이용할 수 있는 대체 이동수단으로 취급하기 때문인 것으로 판단된다.

국내 전기자전거에 대한 기술수준은 시장이 적은 만큼 다른 분야보다 낮다. 과거부터 대부분의 전기자전거는 중국, 일본으로부터 수입되어 판매되고 있다. 특히 국내에서 판매망과 영업망을 갖추고 전기자전거를 생산, 판매, 사후관리까지 수행하는 업체는 극소수이다. 이들 업체의 전기자전거는 중국에 비해서는 상대적으로 우수하나 선진국에 비해 효율성 및 안전성에서 취약점을 가진 경우가 많다.

이 밖의 전기자전거의 핵심기술을 보유한 나라로는 캐나다를 들 수 있다. 캐나다의 Bion-X는 Electric Propulsion System(EPS) Inc를 세계 3대 자동차 부품 업체의 계열사인



(a) Bion-X Motor & Drive Kit



(b) Bosch Motor & Drive Kit

그림 2 전기자전거용 구동 Kit 제품

Magna Marque International에서 인수하여 생산한 제품이다. 대기업 자본 및 시장 확대 노하우와 중소기업기술력의 조화로 평가받고 있으며 Kotra의 해외시장정보에서 “신성장 경영 마케팅 성공사례”로 소개될 정도로 자본과 기술의 조화로 빠른 성장세를 보이고 있다.⁽⁴⁾

3. 전기자전거 구동시스템

3.1 전기자전거 구동시스템의 구성 및 요구사항

전기자전거는 자전거를 구성하는 프레임, 휠, 핸들, 브레이크, 페달, 기어박스과 함께 전동기, 제어기, 배터리, 센서, 주행 조작기등의 전장품을 함께 사용하여 주행의 편의성을 향

상시킨다.

전기자전거에 대한 규격은 유럽의 EN15194, 일본의 JISD9115가 대표적이며 국내에는 관련규격이 없다. 다만 2009년 4월에 고시된 자율안전확인 품목의 이륜자전거 자율 안전 확인기준에서 표 1과 같이 전기자전거에 대한 조건을 규정하고 있다. 안전기준상 국내에서 시판되는 전기 자전거는 반드시 페달 주행기능이 있어야 한다. 구동은 전기 모터 동력 또는 페달과 전기 모터의 동시 동력이 한움직이는 형태 한구 성될 수 있고 전기 자전거의 정격출력 330W이하로 규정되어 있다. 이때 정격출력은 운전자가 탑승 후 평지기준 전기자전거 최대 속도에서의 모터 출력을 의미하며 정격출력이 규정 보다 높을 경우 원동기장착 자전거 사용신고 대상으로 분류 되어 면허가 필요하다.

표 1 이륜자전거 자율 안전 확인기준상 전기자전거의 사양

항 목	안 전 요 건
전동기 출력	- 정격출력이 0.33kW 미만일 것 (국내 교통환경을 감안)
최고속도	- 시속 30 km/hr 미만일 것
제 어 기	- 저 전압 · 과전류의 보호 기능을 갖출 것 - 모터 상 단락 안전장치를 갖출 것
배 터 리	- 최대 배터리 전압 : DC 48V이하 - 충,방전 시 누설현상이 없어야 함. - 우수한 밀폐성을 가져야 함.
충 전 기	- 전기용품 안전인증(KC)을 받아야 함
절연성능	- 절연 전기 저항값은 2MΩ보다 클 것(우천 시 감전에 대비)

3.2 동력전달형태에 따른 전기 자전거용 전동시스템의 종류와 특징

3.2.1 Center Mount Drive

그림 4의 전동기, 페달, 토크센서가 일체화된 모듈을 이용한 센터마운트 구조로 일본과 유럽을 중심으로 현재 가장 많이 보급된 전동시스템의 형태이다. 페달링에 의한 동력이 프레임의 중앙에 위치한 전동기의 전동력과 더해져 차륜기어를 거쳐 휠로 전달된다. 자전거 전체 중량 배분이 균형적이고 원하는 크기의 모터와 기어비 설정이 용이하며 필요한 센서 및 컨트롤러 등을 하나의 모듈로 제작이 가능하다. 또한 자전거의 기어비를 최대한 활용할 수 있어 전동기의 체적을 감소시킬 수 있다는 장점이 있다. 그러나 전용 프레임 사용하여야 하기 때문에 디자인적으로 제한요소로 작용하고 회생제동이 어려우며 전동기 진동이 페달로 전달되기 쉽다는

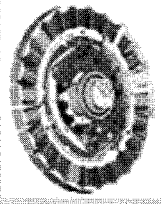
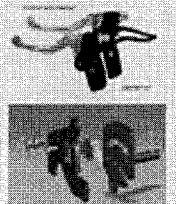
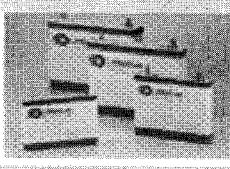

	<p>Motor & Controller</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vehicle Propulsion - Motor Drive - POD & PAS 		<p>SENSORS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Torque Sensor - Brake Sensor - Slope Sensor - Speed Sensor - Movement Sensor
	<p>Battery & BMS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Power Source - Li-ion, Li-Polymer, LiFePO4 Battery pack - Battery Management 		<p>HMI</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vehicle Data Display - User Function Input - Sensor Hub - Back Light

그림 3 전기자전거용 주요 전장품

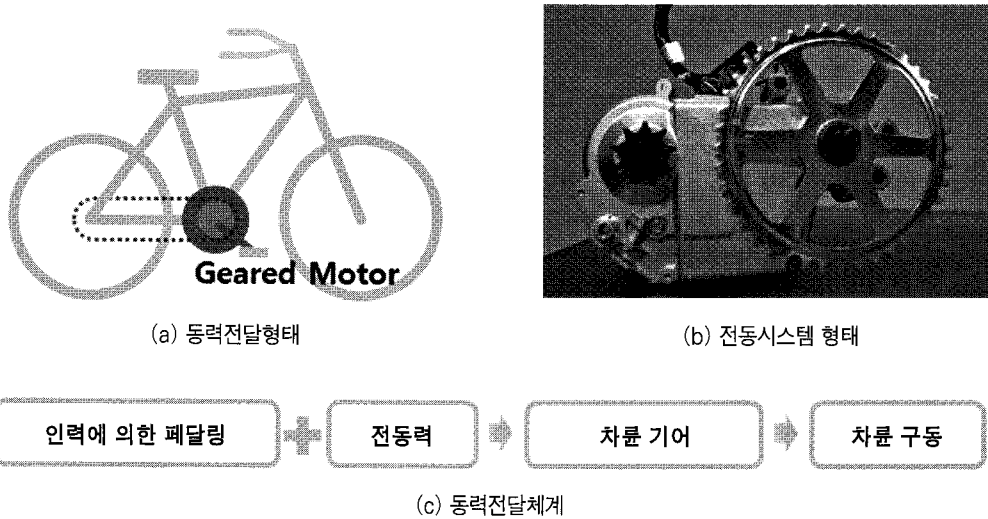


그림 4 일체화 모듈형 Center Mount 방식의 구조

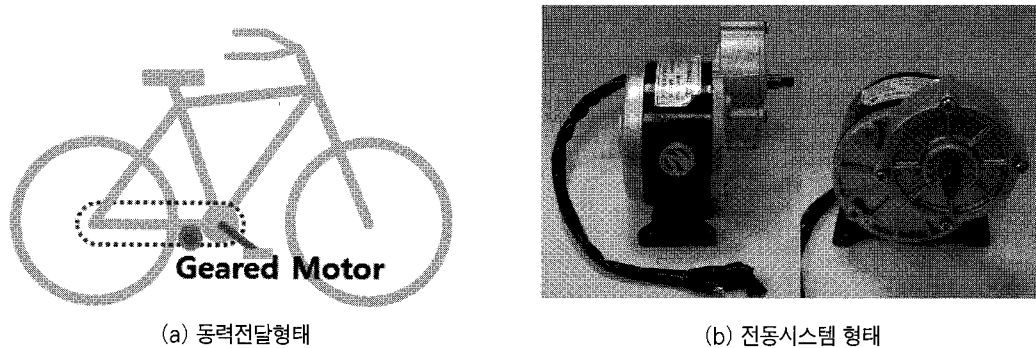


그림 5 전동기 분리형 Center Mount 방식의 구조

단점이 있다.

그림 5는 전동기가 페달에서 분리되어 별도로 설치된 센터 마운트 구동방식을 나타내고 있다. 이 방식은 주로 중국산 전기자전거에 이용되며 대략 8~10:1의 감속기를 사용하는 전동기를 적용한다. 휠 사이즈가 큰 경우에는 문제가 없으나, 작은 경우 지면과 전동기간의 거리가 가까워져서 구조적으로 불리하며 지열로 인해 시스템의 불안정을 초래하는 경우도 발생한다.

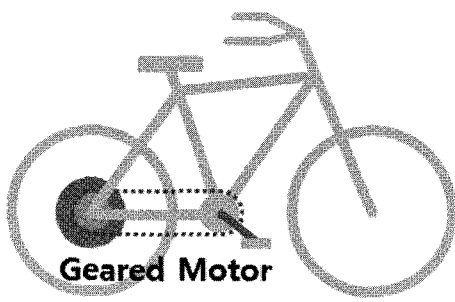
3.2.2 Hub Mount Drive

In-Wheel 이라고도 불리는 Hub Mount 방식은 그림 6의 기어가 장착된 전동기를 이용하는 경우와 그림 7의 직접구동형 전동기를 이용하는 형태로 구분된다. 모든 Hub Mount 방식의 전동시스템은 전륜, 후륜, 전륜/후륜에 장착될 수 있다. 이 방식은 센터 마운트 방식에 비해 전동기가 감당해야 할

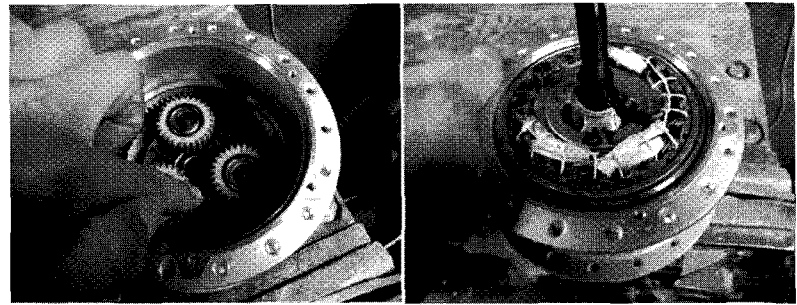
부하 토크가 크기 때문에 이를 고려한 안정성이 높은 제어기가 요구된다. 보통 제어기는 별도의 공간에 수납하는 방식을 사용한다.

그림 6의 기어드 전동기를 사용한 Hub Mount 방식은 감속기를 사용하기 때문에 전동기의 체적이 작아 측면에서 보았을 때는 거부감이 적으며, 제작가격이 낮고 구조가 단순하여 시장 지배력이 높다. 그러나 감속기에 의해 주행소음이 높고 기구적 저항이 발생하며 전동기와 감속기가 축 방향으로 결합되는 것에 의해 축방향 길이가 증가하여 프레임포크의 변형이 필요하다. 특히 감속기를 함께 사용할 경우 포크의 변형은 더욱 크게 심화된다. 이 방식 역시 전동기내 공간이 부족하여 보통 제어기는 별도의 공간에 수납하는 방식을 사용한다.

그림 7은 직접구동형 전동기를 이용한 Hub Mount 방식을 나타내고 있다. 감속기에 의한 에너지 손실이 없고, 진동 및



(a) 동력전달형태

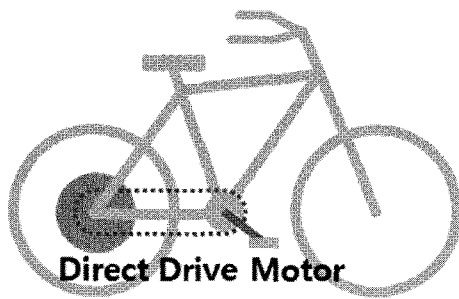


(b) 전동시스템 형태

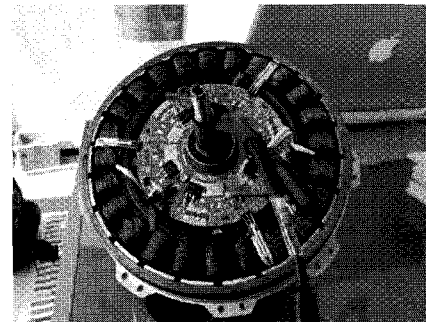


(c) 동력전달체계

그림 6 Hub Mount(Geared Motor) 방식의 구조



(a) 동력전달형태



(b) 전동시스템 형태



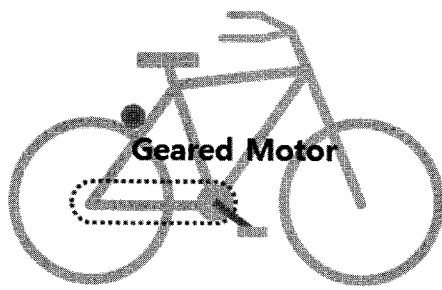
(c) 동력전달체계

그림 7 Hub Mount(Direct Drive Motor) 방식의 구조

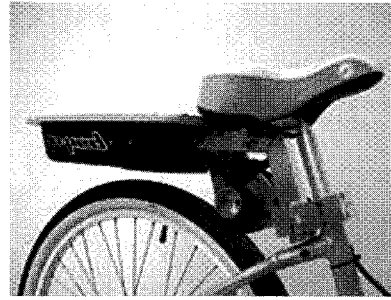
소음이 감속기를 사용하는 방식에 비해 낮다. 다만 높은 토크를 얻기 위해서는 전동기의 직경이 커지게 된다는 것과 외전형 전동기의 공통적인 문제인 방열이 어렵다는 단점을 가지고 있다. 고급 모델에서는 제어기와 전동기를 일체형으로 구현되는 경우가 많으며, 저가형 모델에서는 별도의 공간에 제어기를 설치하는 경우가 많다.

3.3.3 Frictional Mount Drive

그림 8은 전동기의 회전축에 연결된 롤러와 휠의 타이어를 마찰시켜 차륜을 회전시키는 방식을 나타내고 있다. 이 방식은 타이어와 롤러의 직경에 의해 생기는 큰 기어비를 이용하는 방식이기 때문에 전동기의 크기가 작고 가볍다. 그러나 타이어와 롤러의 마모가 심하고 물, 기름등이 타이어에 묻을 경



(a) 동력전달형태

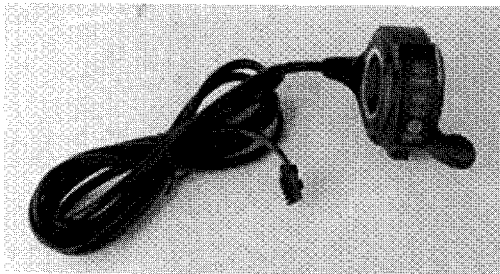


(b) 전동시스템 형태

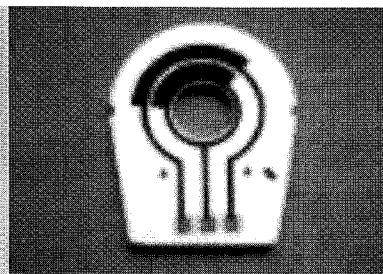


(c) 동력전달체계

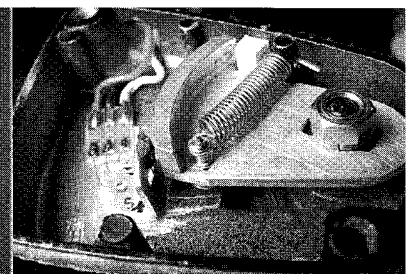
그림 8 마찰구동방식의 구조



(a) 일반적구조



(b) 저항 방식



(c) 홀센서 방식

그림 9 전기자전거용 스로틀의 구조와 종류

우 슬립이 발생하며 마찰에 의해 효율 떨어지는 문제가 있다.

3.4 전기자전거용 전동기

전기자전거용 전동기로는 직류 전동기, BLDC 전동기가 주로 이용되며 최근 PMSM의 이용도 증가하고 있고 이를 위한 제어기 및 전력변환기 관련기술도 변화하고 있다.

직류전동기는 보통 저가형 중국 제품에 많이 적용되며 대부분 기어드 모터를 적용한 센터마운트 방식이나, 유성기어를 적용한 기어드 허브마운트 방식에 적용된다. 브러시를 사용하기 때문에 정류자와 브러시의 마모가 발생하여 유지보수 또는 교체가 필요하다. 견인용으로 주행하는 경우 제어에 따라 권선, 브러시의 파손으로 이어지는 경우가 많다.

비교적 중·고급형에 이용되는 BLDC 전동기는 모든 구조의 동력전달방식에 이용된다. 감속기를 사용하는 동력전달방식의 경우에는 내전형 전동기를 사용하고, 감속기를 사용하지

않는 직적구동방식의 경우는 외전형 전동기를 주로 이용한다. 외전형 전동기인 경우에는 주로 영구자석을 회전자의 표면에 부착하는 SPM(Surface-mounted Permanent Magnet)방식을 내전형 전동기인 경우 SPM방식과 영구자석을 회전자에 삽입하는 IPM(Interior Permanent Magnet)방식을 사용한다.

최근에는 전기자전거를 사용하는 사용자들의 질적 수준증가로 고급형을 중심으로 소음 및 진동감소와 같은 감성적 성능을 높이기 위해서 PMSM형태의 전동기가 이용되고 있는 추세이다.

3.5 전기자전거용 센서

전기 자전거의 구동을 위해 사용되는 센서는 크게 스로틀, 토크센서, 속도센서가 있으며 이밖에 브레이크센서 등을 추가로 사용하게 된다.

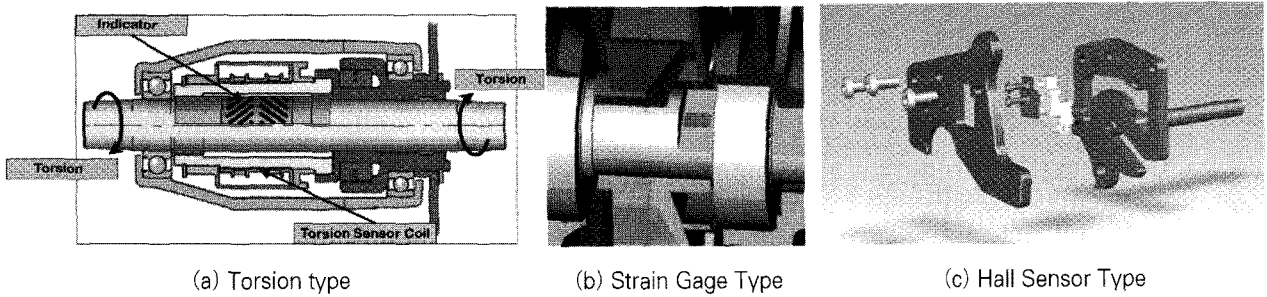


그림 10 전기자전거용 토크센서의 종류와 구조

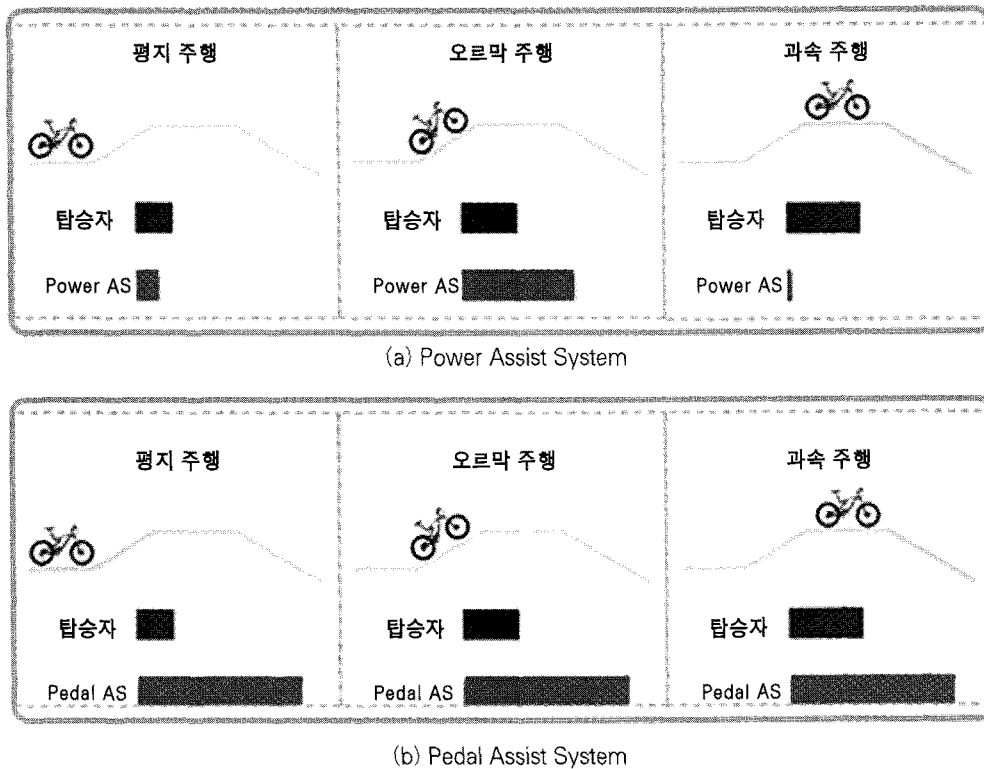


그림 11 보조력 발생방식에 따른 비교

스로틀은 일반적으로 중국, 한국, 미국, 동남아 등 전기자전거의 운행 법규상 전동력만으로 자전거의 구동이 가능한 나라에서 이용되는 입력수단으로 마치 내연기관을 장착한 이륜차처럼 스로틀의 조작량에 따라 출력이 조절된다. 검출방식에 따라 크게 저항 방식과 홀센서 방식으로 나누어진다.

토크센서는 일본, 유럽 등 전기자전거의 운행법규상 전동력을 보조력만 사용할 수 있는 나라에서 주로 적용되고 있다. 형태로는 비틀림을 이용하는 비틀림 방식, 휘어지는 양에 따라 저항 값이 변하는 스트레인지이지 방식, 휘어지는 양에 따라 자기력의 변화를 감지하는 홀센서 방식 등이 주로 사용된다.

다. 비틀림에 의한 방식은 일본에서 이용되는 일체형 모듈을 이용한 센터마운트 방식에 이용된다. 스트레인지이지와 홀센서를 이용한 방식은 페달링스 체인으로 연결되어 후륜의 축 또는 축을 지지하는 부분의 변위를 측정하는 형태이며, 센터마운트 이외의 구동방식에 폭넓게 이용되고 있다.

3.6 전기자전거 구동방식

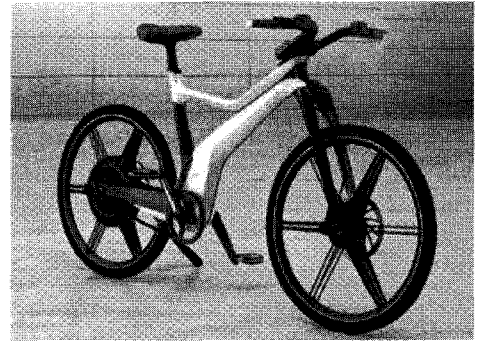
전기자전거의 주요 구동방식은 크게 상기 설명한 PAS 방식과 POD라고 불리는 Power On Demand 방식으로 분류된다. POD방식은 스로틀에 의해 사용자가 요구하는 동력을 조



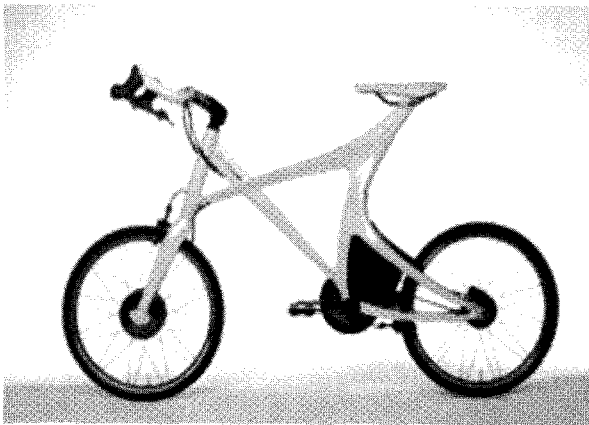
(a) 포르쉐



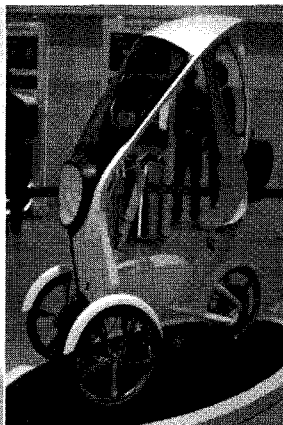
(b) 르노



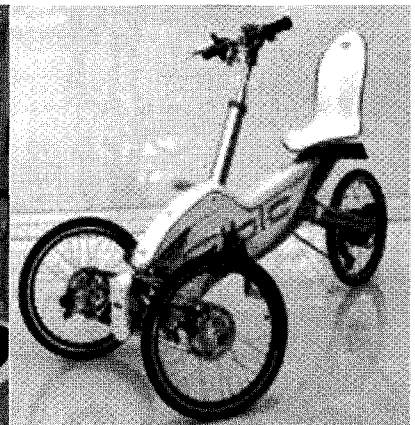
(c) 메르세데스 벤츠



(d) 렉서스



(e) 현대 자동차



(f) 어울림 모터스

그림 12 완성차 업체의 전기자전거

작하면 이에 따른 동력을 전동기에서 발생시킨다. 따라서 전기자전거는 스쿠터나 오토바이처럼 동작하는 형태를 취하게 된다. PAS방식은 상기 POD방식과 달리 페달에 가해지는 힘을 센서가 인지하여 페달링하는 동력의 변화에 비례한 만큼 어시스트를 수행한다.

PAS 방식이 적절히 구현된 경우 출발시 흔들림이 적어 쉽게 균형을 잡을 수 있기 때문에 짐을 실거나, 오르막을 오르거나, 힘이 부족한 노약자가 탑승하는 경우에도 안정성이 높아진다. 물론 주행 중에도 부하가 변화되는 시점에서 전동기가 동작하여 보조력을 발생시켜 편의성을 높인다. 이러한 PAS 방식을 구현하기 위해서는 토크와 속도에 관한 검출이 중요하기 때문에 앞서 설명된 센서관련 기술을 보유한 일본, 유럽 등의 기술이 다른 나라에 비해 우위를 차지하고 있다. 종종 PAS를 Pedal Assist System로 표현하는 경우가 있는데, 이 경우는 토크검출 또는 속도검출 하나만 사용하여 구현하는 경우가 대부분이다. 만일 토크, 속도 검출이 제대로 이루어지지 않은 상태에서 동력이 보조되면 돌발적

인 동작으로 인한 사고로 이어질 수 있으므로 각별히 주의하여야 한다.

3.7 향후 전기자전거 및 구동기술 개발 방향

향후 전기자전거 시장은 상용차 업체들의 진출을 통해 디자인, 품질, 성능에서 많은 변화를 가져올 것으로 보인다. 최근 개최되고 있는 모터쇼 및 각종 전시전에서 유명 자동차 브랜드의 대부분이 전기자전거 또는 자전거에 대한 컨셉을 제시하고 있으며 일부 상품은 판매되고 있다. 이는 완성차 업체들이 선진국일수록 자동차보다는 자전거에 대한 이용률이 높으며 노령화에 접어드는 시점에서 편의성이 높은 전기자전거의 이용이 확대될 것을 예상하기 때문으로 분석된다. 따라서 전기자전거 시장에 완성차 업체가 진출하여 자동차 제조기술을 기반으로 생산 및 판매가 증가할 것으로 생각되며 각종 정부정책과 맞물려 전기자전거의 성능, 품질, 시장 확대, 인프라 구축을 통한 활성화가 이루어 질 것으로 예상된다.

4. 결론

전기자전거는 앞서 밝힌 바와 같이 친환경 근거리 운송수단으로 자리 잡을 가능성이 매우 높은 교통수단이며, 이미 많은 나라에서 그 시장을 형성하고 빠르게 성장하고 있다. 국내의 경우 초기 시장 형성시 국내의 지형을 고려하지 않고 낮은 성능의 저가형 제품이 단순 수입되어 높은 가격으로 판매되었기 때문에 전기 자전거에 인식이 매우 좋지 못 한 듯 하다. 이로 인해 시장의 형성이 제대로 이루어지지 못했기에 따른 구동기술의 개발 역시 매우 미미한 실정이며 상품화와 시장 활성화에는 부족함이 많은 것으로 보인다. 최근 일부업체를 중심으로 개발이 이루어지고 있으나, 이미 시장을 선점하고 있는 업체를 추월하고 활성화에는 다소 시일이 걸릴 것으로 예상되므로 조급함을 버리고 중장기적인 안목으로 시장을 분석하여 우수한 국내 전동력 기술에 브랜드 파워를 가진 국내의 판매망, 세계적인 IT기술을 융합한다면 보다 빠르게 전기 자전거 시장에서 입지를 확대 시킬 수 있을 것을 생각한다. ■■■

참 고 문 헌

- [1] 박병국, 김영호, 조세정, 구본경 김경미, 김윤희, 유기자, 안유석, "해외 주요국 자전거 산업정책 및 시장동향", Global Business Report 09-029, KOTRA, 2009. 8.
- [2] "중국 전기자전거 산업의 동향과 전망", 산업기술연구원 중국산업브리핑, 2010. 1.

- [3] 황병덕, "2009 특허기술 마케팅 보고서-전기자전거", 한국발명진흥회, 2009.
- [4] 조은진, 조병휘, "세계시장에서 주목받는 녹색제품", Kotra Executive Brief, 2009. 9.

〈 필 자 소 개 〉



김태형(金泰亨)

1977년 12월 5일생. 2003년 경성대 전기공학과 졸업. 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년 동 대학원 산업시스템공학과 전기공학전공 졸업(공학박). 2009년 9월~2010년 10월 (주)엑셀시스템즈 책임연구원. 2010년 10월~현재 대구기계부품연구원 메카트로닉스 부품산업화센터 지능형 자동차연구팀 선임연구원.



이상훈(李相勳)

1972년 2월 17일생. 1997년 경성대 전기공학과 졸업. 1997년 부산대 전기공학과 졸업(석사). 2006년 동 대학원 졸업(공학박). 2002년~2006년 LG-OTIS 엘리베이터 서보탑 근무. 2006년~현재 대구기계부품연구원 지능형자동차연구팀장.