

전동 이륜자동차의 개발 동향

노 증 상*, 최 주 용**

(*DH홀딩스 미래자동차부품연구소장, **경성대 메카트로닉스공학과 전임강사)

1. 이륜자동차 개요

국토해양부 자동차관리법에서 이륜자동차는 총배기량 또는 정격출력의 크기와 관계없이 1인 또는 2인의 사람을 운송하기에 적합하게 제작된 이륜의 자동차 및 그와 유사한 구조로 되어있는 자동차로 정의되어 있다.

전세계 이륜자동차의 보유대수는 약 2억대가 넘는 것으로 추정이 되고 있으며 중국, 인도, 대만, 일본, 베트남 등 아시아 국가가 1,000만대 이상을 보유하고 있다. 특히, 베트남은 이륜자동차의 보급률이 높아 하노이와 호치민 지역은 2인당 1대, 기타 도시는 3~6인당 1대 정도로 보급되어 있다. 이는 인구 밀집도가 높은 아시아 국가의 특징에 의한 것으로 도심

부의 교통정체를 피해 이동 및 운송이 용이한 이륜자동차가 주요 교통수단이 되었다. 이륜자동차 생산규모는 2001년 기준 약 2,500만대로 매년 3.5% 증가하는 경향을 보이며 대부분이 중국, 인도, 일본 등 아시아국가에서 생산되고 있다.

대부분의 이륜자동차는 일반 자동차와 같이 내연기관에 의해 구동된다. 하지만 내연기관 이륜자동차는 1,500cc급 내연기관 승용차에 비해 CO(일산화탄소)는 8배, HC(탄화수소)는 무려 140배를 배출한다. 이에 따라 대만과 일본에서는 환경규제와 고유가에 대응하기 위하여 전동력을 이용한 이륜자동차의 개발 및 보급을 서두르고 있다.

국내의 이륜자동차 산업은 수요와 공급 양면에서 근본적인 변화에 직면하고 있다. 우선 이륜자동차는 위험하다는 인식과 교통법규 위반의 주범이라는 부정적인 인식이 팽배하여 그 수요가 급감하고 있으며 공급에 있어서 저가의 중국산에 국내시장이 잠식당하고 있다.

2. 전동 이륜자동차 동향

2.1 국내외 정책 동향

세계 각국에서는 환경오염문제로 인해 자동차의 배기가스를 규제하는 법률을 만들고 그 규제수준을 강화하고 있다. 전동 이륜자동차는 환경규제나 충전인프라 등에서 전기자동차와 밀접한 관계를 갖고 있다. 미국 캘리포니아주는 일정 비율의 무공해자동차를 판매해야 하는 규정을 제정하여 2000년도 하이브리드자동차 7,700대를 시작으로 2015년에는 전기자동차 100만대를 보급할 예정이다. 이에 따라 주 전역에 배

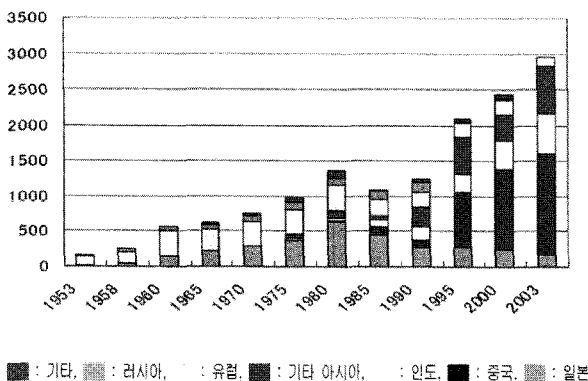


그림 1 세계 오토바이 생산대수 추이 (단위 : 만대)
 < 출처: 코트라 심층조사DB >

터리 충전스테이션 및 교환센터를 건립하고 있다. 영국에서는 도심 주차지에 충전인프라를 구축하여 2인용 근거리 저속 전기자동차를 상용화하고 있다. 프랑스에서는 전기자동차 대역 시스템인 오토리브(Autolib)를 확대하고 있다. 중국은 2008년 베이징 올림픽을 기점으로 지자체별 내연기관 이륜자동차 통행 규제를 강화하고 있다. 대만은 연간 이륜자동차 판매량의 30% 수준인 3백만대를 전동 이륜자동차로 교체할 계획을 수립하고 전동 이륜자동차 구입시 보조금 지원과 더불어 상용화를 위하여 이륜자동차 소매점에서 배터리 교환 및 충전이 가능하도록 준비하고 있다.

우리나라도 친환경차 개발 촉진을 위한 보급 일환으로 지난해 대기오염이 심한 수도권지역의 대기환경을 개선하기 위하여 「수도권 대기환경개선에 관한 특별법」(2005. 1. 1. 시행)이 제정됨에 따라, 10대 이상의 차량을 보유한 행정기관 및 공공기관이 자동차를 새로이 구매하는 경우 저공해자동차를 구매하여야 하는 비율을 20퍼센트 이상으로 정하였다. 이륜자동차에 있어 최근 정부는 전체 20%를 전동 이륜자동차로 대체하여 연료비 188,860 kJ 절감과 이산화탄소 33만톤 감축을 목표를 수립하였고 환경부와 서울시는 내연기관 이륜자동차와의 차액을 보조하거나 전동 이륜자동차로의 교체 비용을 지원하고 공원 순찰이나 쓰레기 수거용으로 전동 이륜자동차를 확대 보급하고 있다. 이와 같이 정부의 보급 지원정책을 바탕으로 국내에 적합한 전동 이륜자동차 개발로 향후 레저 및 상용으로 확대 보급함으로써 국내 전동 이륜자동차 산업을 보호하고 핵심부품의 원천기술 확보해야 한다.

2.2 국내의 시장동향

세계 시장도 친환경 교통수단에 대한 각국 정부 지원 정책에 힘입어 2007년 16만대 정도의 판매대수가 2010년에는

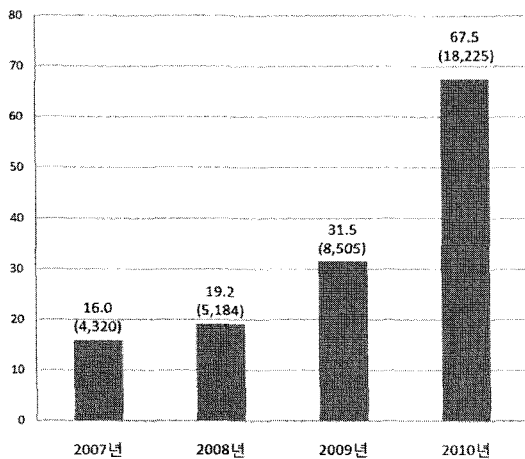


그림 2 전동 이륜자동차 세계시장 규모 (단위 : 만대, 괄호안은 억원) <출처: 에코카>

약 67만5천대로 4배 이상 늘어났다.

국내에는 약 10여개 기업에서 전동 이륜자동차를 제작하고 있으나 이들 업체 대부분은 중소기업 형태에서 벗어나지 못하고 있는 것이 현실이다. 특히 국내 전동 이륜자동차는 중국 및 대만 등에서 완제품으로 들여오거나 일부 부품을 수입하여 국내에서 조립되는 수준이다. 국내 전동 이륜자동차 수요는 2006년 중국산 포함 연간 7,000~8,000대 정도였으나 2007년에는 13,000대로 그 수요가 점점 늘어나고 있다. 이는 친환경에 대한 인식이 높아지고 저렴한 유지비용으로 인한 연료비의 절약 등의 이유로 소비층이 늘어난 것으로 보이며 공공기관 및 지자체에서 업무용 보급이 확대된 것이다. 하지만 전동 이륜자동차는 비싼 차체 비용 및 짧은 배터리 수명, 충전의 번거로움, 언덕길이 많은 한국 지형을 고려하지 않은 모터출력 등 기존 이륜자동차와의 비교에서 뒤처지고 있는 것이 현실이다.

3. 기술 개요

전동 이륜자동차는 외부로부터 전기에너지를 충전하여 배터리에 저장 및 관리하고 이를 전장시스템에 맞는 수준으로 전력을 변환한 후 구동 모터를 제어하게 된다. 이와 같이 충

표 1 2005년 전기이륜차 업체별 보급 현황

구분	(주)단왕	(주)유림	마이텍	에코카	코브코	비고
모델명	일렉타이 -152ss	KM -X41	EVT -168	ECO -Biky1	채표	5개업체
보급대수	69대	60대	40대	70대	48대	287대
대당원가 (천원)	1,670	1,750	2,000	2,150	2,400	-

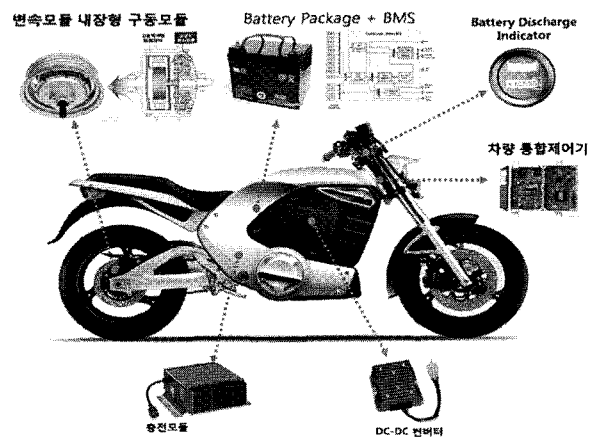


그림 3 전동 이륜자동차의 구성

전 및 에너지 저장, 전력변환, 구동 및 제어를 위한 시스템은 모듈 단위로 이륜자동차의 차체에 탑재된다. 이 밖에도 전동 이륜자동차는 기존 이륜자동차에서와 같이 감속 및 정지를 위한 제동장치, 차체를 지지하고 노면으로부터의 충격을 완화시키는 현가장치를 갖추고 있다. 각각의 모듈은 주행거리를 연장하고 등판능력을 향상시키기 위하여 소형화, 경량화, 고효율화를 위한 기술이 집적되어 있다.

3.1 에너지 저장 및 충전 모듈

전동 이륜자동차용 배터리팩은 에너지를 저장하는 셀, 배터리의 상태를 실시간으로 제어하는 배터리 관리 시스템인

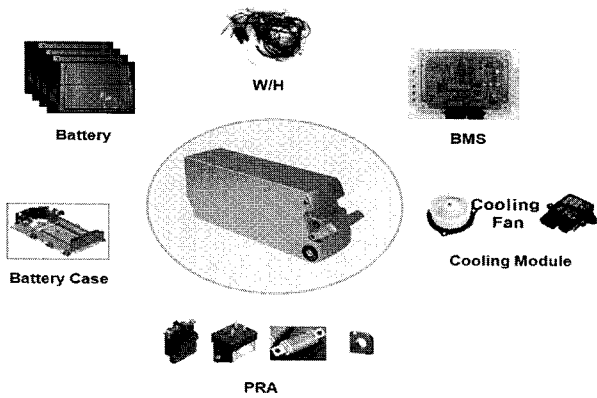


그림 4 전기 동력 이륜차용 배터리팩 구성

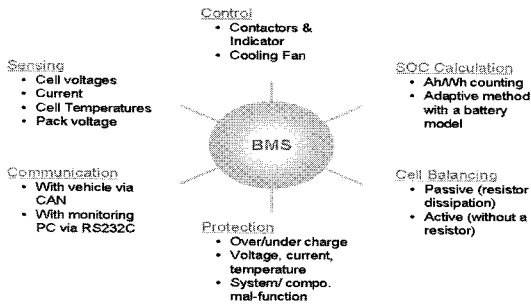


그림 5 전동 이륜자동차의 배터리관리시스템 기능

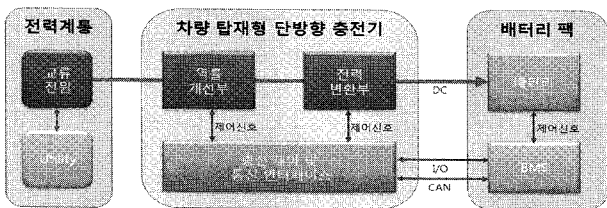


그림 6 차량 탑재형 단방향 충전기의 구성도

BMS(Battery Management System), 배터리 안전을 위한 PRA(Power Relay Assembly), 배터리 과열방지를 위한 냉각모듈 등이 배터리 케이스에 내장되고 각종 전장모듈과 각종 센서를 연결하는 Wiring Harness 로 구성된다. 전동 이륜자동차의 배터리 팩은 적게는 십여개, 많게는 수십 개의 셀이 직렬로 연결되어 있어 셀의 연결구조와 패키지는 셀의 수명 및 성능을 좌우하는 중요한 요소가 된다.

전기자동차나 전동 이륜자동차에 적용되고 있는 배터리는 납축전지, 니켈수소전지, 리튬이온전지 등이 있으나 전기자동차나 전동 이륜자동차에는 원가를 고려하여 납축전지가 적용되고 있으며 일부 고출력 이륜자동차에 리튬이온전지가 채택되고 있다.

BMS는 배터리 팩을 구성하는 셀 각각을 실시간으로 모니터링하여 차량시스템에서 요구하는 전기에너지에 부합하도록 배터리시스템을 최적화하는 부품이다. 현재 상용화된 대부분의 전동 이륜자동차는 납축전지가 적용되었고 일부 리튬이온 배터리와 이에 대한 BMS가 장착되었으나 보다 개선된 성능이 필요하다.

전동 이륜자동차의 전원은 외부에서 공급되며 이를 위해 차량 탑재형 또는 휴대용 충전기가 필요하다. 충전기는 충전 알고리즘에 의하여 출력 전압 및 전류를 최적화하고 BMS와의 연계 시 오동작에 대한 보호회로를 내장하고 있다. 특히 차량 탑재형 충전기는 상용 교류전원 계통(Utility or Grid)과 직접적으로 연결되므로 충전동작으로 인하여 계통에 미칠 수 있는 악영향을 최소화할 필요가 있으며, 이를 위해서는 계통 무효전력 성분 및 전기적인 노이즈 유입 저감 기능을 갖는 역률개선회로가 충전기 입력측에 구성되어야 한다.

3.2 구동 및 변속 모듈

배터리 전원을 이용하여 이륜자동차의 바퀴를 구동시키는 전기 구동 모터는 주행패턴이나 운전환경을 고려하여 변속 모듈과 함께 최적의 동력을 제공하도록 설계되어야 한다. 이륜자동차용 전동 모터로 초기에는 단순 속도가변 기능을 내재한 저가의 저출력급의 브러시(Brush)형 DC모터가 적용되었으나 유지보수나 내구성 측면의 한계로 인하여 최근에는 BLDC(Brushless DC) 모터가 주로 연구되고 있다. 고 에너지 밀도를 갖는 영구자석의 개발에 힘입어 영구자석형 3상 동기 모터에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 표 2는 상용화된 전동 이륜자동차 구동 모터의 사양을 나타낸다. 일본의 야마하에서는 전기구동 스쿠터에 모터와 드림브레이크, 유성감속기를 일체화한 파워유닛을 후륜 허브 내에 내장하여 전체 차량중량을 40kg 정도로 하는 모델을 출시하였으며, 최고속도는 40~45km/h 수준이다. 국내 M사에서는 전기자전거용의 허브형 3단 변속모듈로 단일 폴 및 풀러 클러치방식으로 구동시 래치트 소음이 없으며 PUSH형 변속제어방식을 쓰는

표 2 전동 이륜자동차 구동 모터 사양

모델명	제조사/국가	구동 모터 형식 및 사양
Passol 	Yamaha/ 일본	-모터종류 : BLDC 모터 -구동방식 : 180도 정현과구동 -배터리전압 : 25V -정격출력 : 0.58kW -최대출력 : 0.95kW/1,830rpm -변속기타입 : 유성감속기
Enertia 	Brammo/ 미국	-모터종류 : BLDC모터 -배터리전압 : 76.8V -최대출력 : 13kW/4,500rpm
Zero S 	Zero Motorcycles/ 미국	-모터종류 : Brushed DC 모터 -배터리전압 : 58V -최대출력 : 4,000W
ET-034 	Zhejiang E-Top Industry/ 중국	-모터종류 : BLDC 모터 -배터리전압 : 48V -정격출력 : 500W (Double wheel type)
WZEB1501EEC 	WIZTEM Industry/ 중국	-모터종류 : BLDC 모터 -배터리전압 : 48V -정격출력 : 1,500W
ELECTRIC 	Vectrix Electric/ 미국	-모터종류 : BLDC 모터 -배터리전압 : 125V -최대출력 : 20kW/3,000rpm
Biky-neo 	에코카/ 한국	-모터종류 : BLDC 모터 -배터리전압 : 48V -정격출력 : 1,500W
S-블루 	아진 게네시스/ 한국	-모터종류 : 하이브리드SR모터 -배터리전압 : 48V
Hillless 5 	레오모터스/ 한국	-모터종류 : BLDC 모터 -배터리전압 : 48V -정격출력 : 1,000W -최대출력 : 6,000W

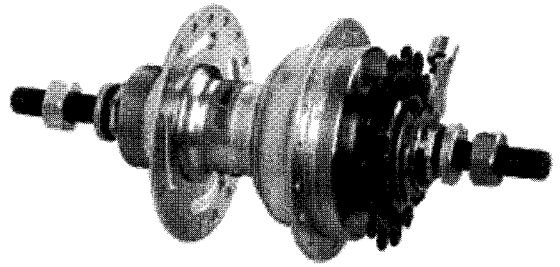


그림 7 허브 내장형 3단 변속기 (국내M社)

제품과는 달리 회전식 변속제어 방식을 적용하여 변속이 용이하고 응답속도가 종래 제품대비 매우 높은 것으로 알려져 있다.

고 토크화를 위한 구동모터 자체의 출력향상을 위하여 기본적으로 모터 체적을 키워야하는 기술 부담을 가지고 있기 때문에, 저속 고 토크 영역과 고속 저 토크 영역의 가변적 운전 패턴을 적절히 활용할 수 있는 경량형의 변속 메커니즘 개발은 전동 이륜자동차의 시장 확산을 위한 또 하나의 중요한 요소기술이다.

3.3 전력변환 모듈

인버터와 컨버터는 구동 모터를 제어하거나 높은 배터리 전압을 12V의 전장시스템에 맞게 변환하는데 사용된다. 특히 인버터 및 컨버터는 핵심소자인 전력반도체 기술이 크게 향상되면서 산업 전 분야에 걸쳐 시스템의 효율 향상을 위해 그 적용이 확대되고 있다.

구동 모터 인버터 기술은 제어 알고리즘 뿐만 아니라 전자 회로, 소프트웨어 등 다양한 기술이 결합된 복합기술 분야이며 특히, 자동차에 있어서 온도, 수밀성 및 전자파 적합성 등 기존 사용조건에 비해 가혹한 조건에서 신뢰성을 확보해야 한다. 또한 인버터와 모터가 분리형 혹은 일체형이 있으나 이륜자동차 탑재성 측면에서 분리형으로 장착되는 추세이다. 인버터는 파워모듈(IGBT), 전류센서, 커패시터 등으로 구성되는데 파워모듈 개선, 고속 마이크로 컴퓨터 사용 및 원칩화, 냉각방법 개선, 제어방법 개선에 따른 고속화 등을 통한 소형화가 요구된다.

발열소자는 직접 냉각부와 접하도록 구성하며 결선과 접속은 Bus bar를 통해 진동과 내구성을 강화한다. 구동회로는 전력회로의 상단에 직접 장착되도록 하여 모듈을 이루고 이러한 모듈은 EMI/EMC 대책 기술이 적용되어야 하므로 구조적인 EMI 저감과 패키지 기술을 통한 차폐기술개발이 선행되어야 한다. 전기동력 이륜차에 대한 적용 주파수가 확대되고 시스템의 간소화가 지속되기 때문에 수송기계용의 전력 변환기에서 MOSFET과 IGBT의 활용이 증대되고 있다. 최

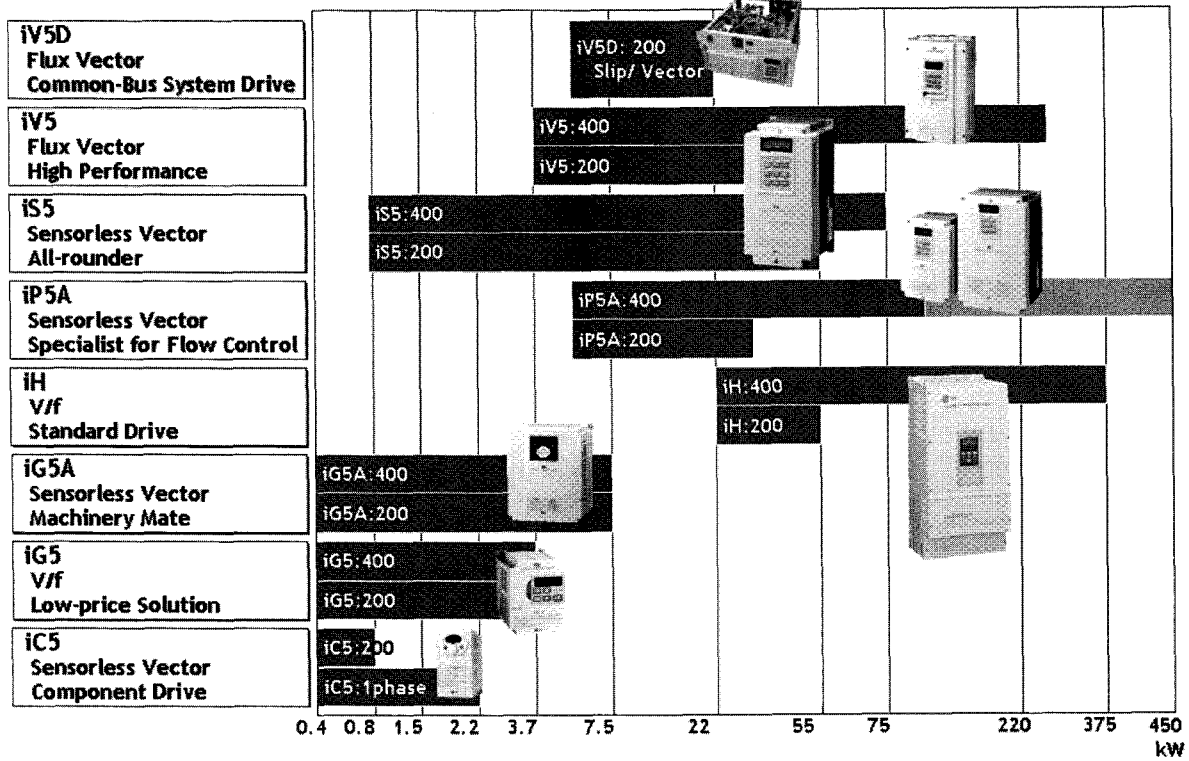


그림 8 국내 인버터 제품 라인업

표 3 전동 이륜자동차용 인버터 핵심기술

핵심기술	세부기술	주요 개발 내용
전력회로 및 소자	저손실 전력회로	고압화, 수동소자 최소화 기술 저손실 회로, 스위치 모듈 분할 구조 설계
	방열기술	전력회로 열해석, 시스템 열 임피던스 모델링 및 측정기술
	게이트 구동회로	EMI 내성 게이트 회로, 구동 IC
	소자/회로 모델링	Robust circuit design을 위한 모델링 (기생성분 및 고온환경 고려)
시스템 설계	모듈 레이아웃	집적형 패키지, 내진동 구조 기술, 고압화 구조
전력모듈 모듈 설계 및 제작	3차원 구조 설계	신 개념의 파워모듈의 구조설계. 높은 파워 밀도, 내장환경에 적합한 창의적인 구조
	열해석/방열	공냉/수냉구조에서 직접 열방출 구조 ⇔ 3차원 구조설계
	파워 디바이스	기존의 파워소자 최적구성 및 신개념 파워소자 개념 도입
	수동소자	Flat capacitor, flat inductor, 고온 film capacitor 절연소재, 고밀도 Ring Bus bar 구조

근의 IGBT의 기술 추세는 Thin wafer 기술과 PT IGBT의 구조를 접목한 Field Stop IGBT로 스위칭 손실이 낮아 견고성 및 안정성이 개선될 경우 그 사용이 증대될 것이다. 전기동력 이륜차의 전력모듈은 일반 산업용 전력모듈에 비하여 적용 장소가 협소하고 제한적이기 때문에 적용 부품 및 모듈의 신뢰성을 확보하는 노력이 필수적이다. 그 예로, 전동 이륜자동차의 사용 전압은 12V로서 일반 산업용보다 상대적으로 낮기 때문에 노이즈에 대한 마진이 작고 좁은 공간에서의 동작은 상호 간의 간섭(Cross talk)을 일으키기 쉬우며, 전압의 Surge는 입출력 단의 영구적인 훼손을 일으킬 수도 있다. 따라서 전동 이륜자동차용 전력모듈은 시간, 공간, 온도 및 환경적인 측면에서 높은 신뢰성을 확보하기 위하여 반도체 접합 온도(junction temperature)와 패키지 온도(package temperature)를 가능한 한 낮게 선정해야 한다.

국내 인버터 설계 기술은 주로 산업용 구동 시스템을 위한 설계 기술을 바탕으로 일반 산업용부터 고성능의 벡터제어 인버터까지 제품군을 보유하고 있고 용량대도 1마력 이하부터 500마력 정도의 대용량까지 IGBT 소자를 사용한 PWM 제어방식의 산업용 인버터를 양산하고 있다. 국내 기업과 대학에서는 인버터의 핵심기술로 전류 제어기 설계, 약자속 설계, Fault Tolerant를 위한 센서리스 제어측면에서의 세계적

인 기술력을 확보하고 있다. 하지만 가혹한 내환경 및 내구 조건을 필요로 하는 자동차용 인버터 설계 경험은 선진국에 비해 많이 뒤쳐져 있는 상태이며 특히 냉각 방열 및 패키징 분야에서의 기술 육성되어야 한다. 또한 인버터의 이륜자동차 탑재를 위해서는 반드시 차량의 상위 제어기와 연계가 필요하며, 그에 따라 차량 통신 및 기타 패리패럴 인터페이스에 대한 연구가 필요하다.

3.4 전자 제어장치 기술

BDI(Battery Discharge Indicator)는 내연기관 이륜자동차에 적용되어 있는 엔진 진단 시스템을 대체하는 것으로 배터리의 충전 전 이력 정보를 바탕으로 주행거리를 추정하고 이와 연동하여 구동 모터의 부하 조건을 관리한다. 현재 이륜자동차의 경우 OBD와 같은 진단 프로토콜을 지원되지 않지만 구동부가 전기자동차와 크게 다르지 않기 때문에 전기자동차의 보급에 맞춰 전용의 진단장비 개발 및 보급이 가능할 것이다.

해외에서는 모바일 장비를 통한 원격 진단 및 제어, GPS 기반 날씨 경보 시스템과의 연동을 통한 차량 제어와 같은 운전자의 편의를 위한 연구가 진행 중이다.


해외 이륜자동차 제조업체에서는 기존의 와이어 하네스로 연결된 센서와 전자제어유닛의 CAN 네트워크를 기반으로 하는 single-wire 시스템을 적용함으로써 전체 시스템을 간소화하여 무게를 줄이고 통합적 진단을 가능한 전자장치를 개발 중에 있다.

4. 결론

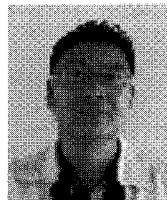
이륜자동차는 운전자의 안전이 취약함에도 불구하고 지속적인 수요가 존재한다. 환경문제와 화석에너지 고갈에 대하여, 일반 차량은 하이브리드 자동차, 전기자동차, 수소연료자동차 등 다양한 접근 방법이 있으나 이륜자동차는 전기 모터에 의한 전동 이륜자동차가 유일한 대안으로 보인다.

전동 이륜자동차의 기술적인 부분에서 기본적인 성능 향상

을 위한 핵심기술에 대한 연구가 진행되어야 하며 또한 내환경성 확보를 위한 평가기술 및 평가 환경 구축이 필요하다. 보급 활성화를 위하여 관련 제도가 정비되어야 하고 충전 및 제작/개조 관련 인프라 구축을 위한 정책이 보완되어야 한다. 또한 현재 진행 중인 전기자동차 관련 표준화에 대한 연구를 바탕으로 전동 이륜자동차 기술 및 사양에 대한 표준화를 추진해야 한다.

전동 이륜자동차 사업의 특성상 시설투자 및 연구개발에 막대한 비용이 들어가는 만큼 정부의 지원이 없거나, 시장경제가 침체 될 경우 대부분의 회사가 부도가 날 수밖에 없는 실정이다. 이는 A/S에 대한 심각한 문제점들이 발생할 수 있어 제품에 대한 신뢰도 저하까지 이어질 수 있다. 

〈 필 자 소 개 〉



노종상(盧宗相)

1973년 4월 16일생. 2003년 울산대 공대 전기 컴퓨터공학과 졸업. 2009년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년~2000년 석문전기 주임 연구원. 2000년~2009년 동희산업 중앙연구소 선임연구원. 2009년~현재 DH홀딩스 미래자동차

차부품연구소장.



최주용(崔柱容)

1975년 5월 10일생. 1998년 부산대 공대 제어 기계공학과 졸업. 2000년 동 대학원 메카트로닉스공학과 졸업(석사). 2005년 동 대학원 지능기계공학과 졸업(공학박사). 2005년~2009년 현대기

아자동차 연구개발총괄본부 선임연구원. 2009년~2011년 자동차부품혁신센터 팀장. 2011년~현재 경성대 메카트로닉스공학과 전임강사.