

특집 : 전기 추진 시스템(I) - 전기자동차

전기자동차 구동 시스템의 개발동향

이 상 태*, 조 주 희*, 김 대 경**

(전자부품연구원 디지털컨버전스연구센터 *선임연구원, **센터장)

전 세계적으로 강화되고 있는 환경규제와 고유가에 대응하기 위해 자동차 산업은 내연기관 자동차에서 전기자동차로 기술의 패러다임이 변화하고 있다. 본 고에서는 전기자동차 구동 시스템의 핵심부분인 구동모터, 인버터, 동력전달 부품, 그 외 전장부품의 연구방향과 세부 기술을 설명하고 전기구동 시스템의 적용사례, 향후전망 및 연구방향에 대해 고찰하고자 한다.

1. 서론

자원고갈, 에너지 문제, 지구 온난화와 환경문제, 주요국의 CO₂ 규제정책과 같은 자동차 산업을 둘러싼 환경의 변화로 전기자동차의 필요성이 강력히 대두되고 있다.⁽¹⁻⁸⁾ 우리나라는 2007년 기준 408만대 2009년 기준으로 531만대를 생산하여 세계 5위의 자동차 생산국이 되었으며, 자동차 산업은 핵심 수출 산업으로 육성되고 있다. 전 세계적으로 원유 가격의 급등과 점차 중요해지는 환경문제의 중요성으로 인해 현재 자동차 시장은 기존의 내연기관으로 구성된 자동차를 대체하기 위한 여러 가지 많은 방안을 제시하고 있다.

그림 1은 에너지, 환경 변화에 따른 자동차 패러다임의 변화를 나타내고 있으며 유해 가스와 CO₂ 배출을 줄이고 에너지 효율을 높일 수 있는 방안으로 EV (Electric Vehicle), PHEV (Plug-in EV), HEV (Hybrid EV), FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle) 등 친환경 자동차로 패러다임이 변화

될 것이라 예상하고 있다.⁽¹⁻²⁾

전기자동차 구동 시스템의 핵심 부품은 구동모터, 인버터, 그 외 동력전달 부품 및 전장 부품으로 이루어진다. 전기자동차 구동 시스템의 가장 중요한 핵심 요소는 고신뢰성, 고효율 밀도, 고효율 특성이 만족되어야 하며 이러한 특성을 만족하기 위해 구동모터의 경우 영구자석을 사용한 모터를 적용하여 고전압화, 고속운전 사양의 선정을 통해 요구조건을 만족시키기 위해 노력하고 있다.⁽⁵⁻⁶⁾ 하지만 최근 영구자석의 주원료인 희토류를 독점적으로 공급하는 중국의 수출억제 정책으로 희토류의 사용을 줄이거나 희토류를 사용하지 않는 모터의 적용이 동시에 이루어지고 있는 실정이다. 또한 인버터의 경우는 전력회로의 전력모듈화를 구현하고 회로전압의 고 전

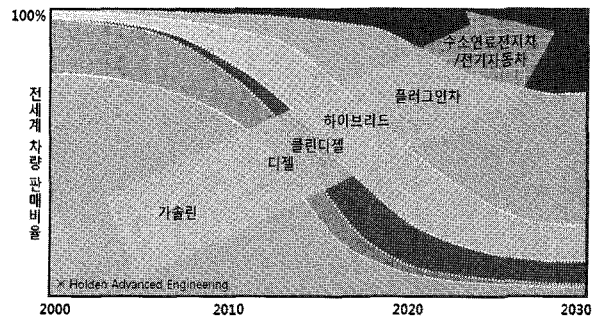


그림 1 에너지, 환경에 따른 자동차 패러다임 변화

압화 및 Package 기술을 통해 방열문제를 개선하여 요구조건을 만족시킨다.^[9] 그 외 동력전달 부품의 경우 경량화 기술 뿐만 아니라 고강도, 고효율의 전달특성이 구현되도록 한다. 이러한 자동차 패러다임의 변화와 중요성을 인지하여 다음절에서 전기자동차 구동 시스템에 대한 적용사례, 향후전망, 연구방향에 대해서 세분화하여 설명하고자 한다.

2. 구동용 모터

2.1 구동용 모터 기술 및 연구방향

전기자동차 구동 시스템의 핵심부품인 구동 모터는 차량의 성능 및 주행특성을 결정하며, 이러한 모터는 일반적인 성능과 더불어 넓은 속도 범위와 우수한 출력토크, 기동시 큰 토크, 연비향상을 위한 고효율/고출력밀도, 유지보수의 편리성, 고신뢰성, 소형/경량 패키지 특성 등을 요구한다. 특히 제한된 공간 안에서 열악한 열적 조건을 만족해야 하는 어려움이 있다. 현재 전기자동차 구동 시스템의 구동모터는 주로 영구자석 동기모터, 유도모터가 대표적으로 적용되고 있으며, 그 외 동기릴럭턴스모터, 스위치드 릴럭턴스 모터를 일부 적용하여 연구가 이루어지고 있다.

고효율, 고출력밀도 특성을 달성하기 위해서는 다양한 형태의 회전자를 가지는 IPMSM (Interior Permanent Magnet Synchronous Motor)을 적용하고 있으며, 주로 일본의 하이브리드 전기자동차를 중심으로 주로 적용되고 있다. 그림 2는 일본의 하이브리드 전기자동차에 적용되고 있는 다양한 형태의 회전자 구조를 보여주고 있다.^[12] 또한 효율과 출력밀도 측면에서는 영구자석 동기기에 비하여 불리하지만 가격과 신뢰성 측면에서 유리한 유도모터를 유럽의 전기자동차 중심으로 적용되고 있는 실정이다. 최근 중국의 회토투 수출억제 정책과 하이브리드 전기자동차 보다 패키지가 유리한 전기자동차에서는 유도모터의 적용이 증가하는 추세이다.

현재 전기자동차용 구동모터분야의 개발방향은 다각도로 검토되고 있지만 무엇보다 중요한 것으로 요소기술 개발이라고 할 수 있다. 새로운 소재, 재료분야가 핵심적으로 육성되어야 하며 소재, 재료 개발을 통해 기존의 한계를 뛰어넘을 수 있는 모터의 개발이 무엇보다 중요하다. 또한 고효율화 측면에서 보면 구동모터는 넓은 속도/토크 구간에서 고효율을 달성할 필요가 있다. 자동차용으로 적용된 사례는 없지만 2000년 초반 최초로 학계에서 제안된 가변자속 모터에 대한 검토도 필요하다.^[12-14] 가변자속 모터는 운전속도에 따라 영구자석의 자속량을 조절하는 기능을 가진다. 저속에서는 큰 자속량으로 운전하고 고속에서는 감자를 통하여 적은 자속량을 이용하므로 고속/고효율 운전이 가능하다. 그림 3은 가변자속 모터의 형상을 나타낸다.

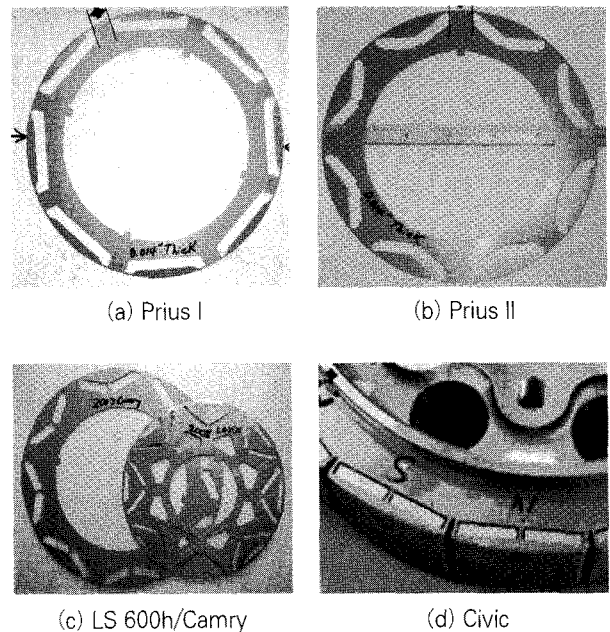


그림 2 다양한 형태의 IPMSM 회전자 구조

표 1 자동차에 적용 가능한 모터의 종류 및 특징

구분	SFM	IPM	SynRM	SRM	IM
형상					
효율	⊗	⊗	△	△	×
회전수	△	⊗	○	⊗	○
고토크	⊗	⊗	○	⊗	×
가격	×	△	⊗	⊗	⊗
토크리플	⊗	○	○	×	⊗
발생 토크					Magnetically Induced Torque
개발 방향	*Cost Down *High Speed PM/Reluctance Hybrid Motor 인버터(제어기) 구동시스템에 최적		*High Efficiency *High Power Density (Weight / Volume)		

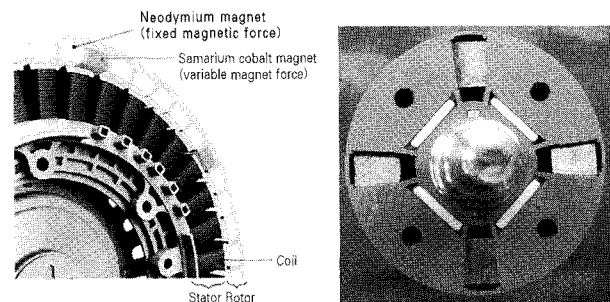


그림 3 가변자속 모터의 형상

2.2 구동용 Motor 핵심기술 및 적용사례

구동모터의 기술의 특징은 모터 설계기술, 구조 설계기술, 방열기술, 센서기술, Material 적용 및 소자기술 등을 포함한 융합적인 기술 분야의 특징을 가진다.

표 2에서 구동모터의 핵심 기술분야, 적용기술 및 최신기술에 대해 구분하였다. 전기자동차 분야에 있어서 구동모터의 중요성은 매우 크며 실제 자동차의 성능에 큰 영향을 미치는 가장 핵심적인 부품이라 할 수 있다. 주요 부품인 구동모터의 각 회사별 실적용 사례를 표 3에 나타내었다.

표 2 구동모터의 핵심 기술분야 및 적용/최신기술

분류	기술분야	적용기술	최신기술
핵심 기술	구동 모터	Electro magnetics - 모터 설계 및 해석 기술 - 모델링 기술	고밀도 고출력 일체형 구동부품
		Thermal - 열 해석기술 - 열 평가기술	3D 해석 기술 (열, 진동)
		Mechanical - Packaging 기술 - 내진동 저소음 설계기술	신소재기술
	모터용 Sensor 및 재료	Sensor Interface - 모터 위치 센서 설계기술	고정밀 위치센서
		Material - 고효율 자성 재료 설계 기술 - 고온, 고전압 절연 기술 - 내환경, 신뢰성 확보	신소재 자성재료개발
			박막 필름 소재개발

표 3 각 회사별 친환경 그린카의 모터 사양

구분\회사	현대	Toyota	Nissan	Honda	GM	Ford	Chrysler
차종	Bule On	RAV4LV EV	R'nessa EV	EV Plus	EV1	Ranger EV	Epic
모터 종류	유도 모터	동기 모터	동기 모터	동기 모터	유도 모터	유도 모터	유도 모터
최대 출력 (kW)	61	50	62	49	102	66	74
최고 속도 (km/h)	130	125	120	130	129	120	129

3. 구동용 인버터

3.1 구동용 인버터 구성

전기자동차 구동모터의 속도제어 및 시스템의 제어를 위해 인버터는 없어서는 안될 핵심요소 부품이다. 학계에서 이야기 하는 인버터의 정의는 DC의 전력을 AC의 전력으로 바꾸는 전력변환장치를 총칭한다. 그러나 전기자동차용 인버터는 단순히 DC를 AC로 바꾸는 것 이외에 차량의 속도제어, 토크 제어, 시스템 제어뿐만 아니라 차량 안전을 위한 진단 기능도 담당해야 한다. 이러한 핵심 부품인 인버터는 모터를 제어하는 구동부로서 완성차 업체에서는 MCU (Motor Control Unit) 라고 칭하기도 한다. 그림 4는 전기자동차 구동을 위한 인버터(MCU)의 일반적인 구성을 나타내고 있다. 고전압 모터의 구동을 위해 저전압 배터리 전압을 고전압으로 승압하는 컨버터, 고주파 리플을 저감하기 위한 슈퍼커패시터, 모터와 발전기를 구동하기 위한 IGBT 6개 소자로 구성된 전력 회로, 그 외에 모터의 전류, 회전자 위치 검출과 제어를 위한 신호처리 및 DSP 회로로 구성이 된다.

3.2 구동용 인버터의 핵심부품 및 연구전망

전기자동차용 인버터 부품의 핵심 기술은 고신뢰성, 고효율화, 모듈화, 집적화에 중점을 두고 있다. 이러한 특성을 만족

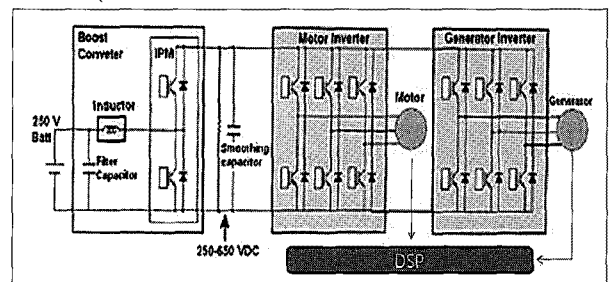


그림 4 전기자동차용 인버터의 일반적인 구성

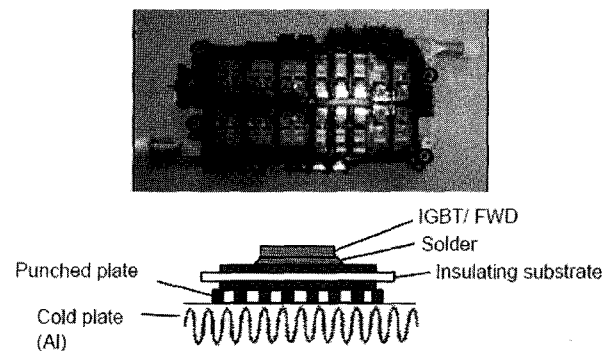


그림 5 Toyota 3rd 세대 전력모듈 및 측면구조

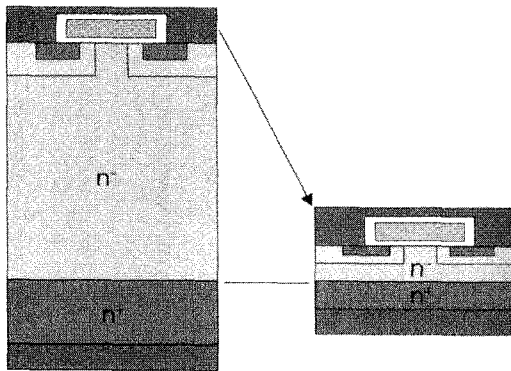


그림 6 같은 전압 사양의 SI 및 SiC Layer 비교도

하기 위해서는 인버터를 구성하는 핵심부품인 전력용 반도체, DC 전압 평활과 에너지 저장을 위한 수동소자, 그 외 고성능의 센서, 모터제어 알고리즘을 처리하기 위한 DSP 회로의 성능은 인버터 동작에 큰 영향을 미친다. 전력용 반도체 부분은 완성차 회사별로 차량의 사양에 적합하도록 패키징하여 전력모듈화 회로로 구현한다. 그림 5는 Toyota 사의 3rd 세대 전력모듈 및 측면구조를 나타내고 있다.

현재의 전력소자는 SI를 기반으로 구성되어 있다. 그러나 SiC로 소자를 개발할 경우 한계점에 도달한 인버터의 효율을 향상시킬 수 있다. 그림 6은 같은 전압사양일 경우 SI와 SiC 소자의 두께를 비교한 그림으로 SiC 소자의 두께는 SI와 비교하여 약 1/10 얇아질 수 있는 점을 나타내었다. 통상 현재의 인버터 효율이 95%로 SiC 소자를 적용할 경우 효율 개선치는 대략 2~3% 정도로 예상되며, 이는 미미한 수치로 가격 상승대비 적용성에 있어서는 비현실적이겠지만, 특히나 높은 내열성과 고 신뢰성을 요구하는 차량용 인버터분야의 SiC 소자의 적용에 대해서 연구가 필요하다.

차량에서 요구하는 수동소자류 및 각종 부품들은 고신뢰성, 고밀도, 고내열 특성을 요구하므로 모터와 마찬가지로 신소재 및 재질 개발에 대하여 연구가 필요하며 차량 측면에서 소자를 적용하기 위해서는 전력전자 기술 뿐만 아니라 일체화 및 패키징 기술에 대해서도 연구의 필요성이 있다.

4. 전기자동차 구동 시스템

4.1 구동 시스템의 구성

전기자동차 구동시스템은 엔진동력을 주력으로 하는 내연기관과는 달리 배터리 전원을 주전원으로 이용하여 전기모터를 구동하는 시스템으로 핵심 구동모듈인 모터, 인버터, 동력전달부품의 비중이 매우 크다. 그림 7은 전기구동 시스템의 에너지 흐름 및 Power Train의 구성도를 나타낸다. 모터, 인버터, 동력전달 장치는 공동된 구성임을 알 수 있다.

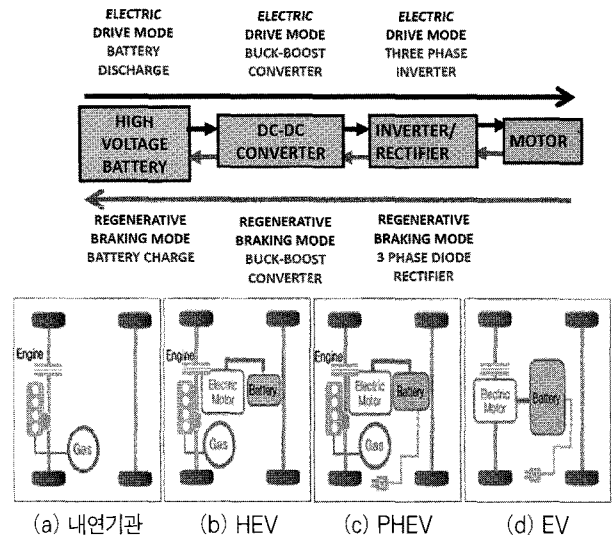


그림 7 전기구동 시스템 에너지 흐름 및 Power Train 구성

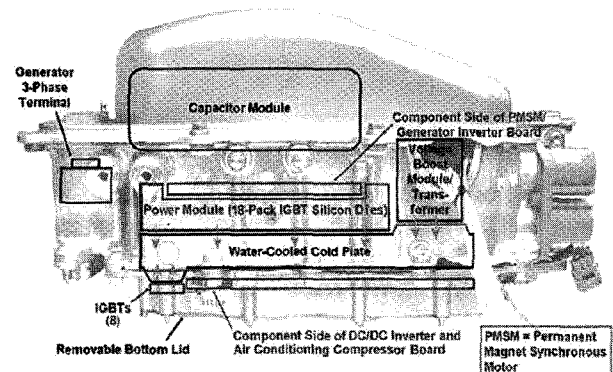


그림 8 도요타 THS 시스템

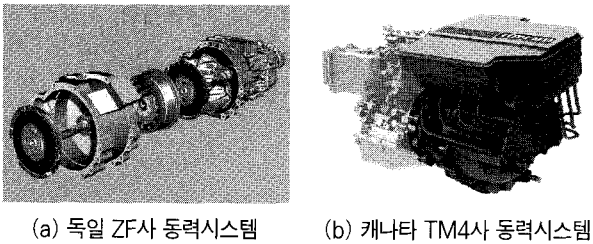
4.2 구동 시스템 개발동향

전기자동차용 구동 시스템은 차량에 장착이 되어짐으로써 소형이면서 고신뢰성, 장시간의 기대수명을 요구한다. 전기자동차의 경우 구동 시스템은 전기 동력을 근간으로 이루어지며 핵심부품인 구동모터, 인버터, 동력전달부품, 그 외 관련 부품은 시스템의 사양에 따라 결정 된다. 구동 시스템은 차량 장착에 소요되는 부피를 줄이기 위해서 다양한 방식의 일체화 기술이 적용되고 있다. 그림 8은 도요타 THS 시스템으로 일체화, 패키징화 되었으며 고신뢰성, 고밀도, 고성능 특성이 만족 될 수 있도록 개발 되었다.

다른 개념의 일체화 기술로서 모터, 모터제어기, 동력전달 장치인 변속기를 하나의 패키지로 결합시키는 구성도 적용되고 있다. 그림 9는 독일의 ZF사와 캐나다 TM4의 일체형 동력시스템의 실제 외관 사진이며 일체화 동력시스템의 적용

으로 장착 위치의 단일화에 따른 패키징 및 공간을 최소화 할 수 있고, 냉각구조를 공유할 수 있는 큰 장점이 있다.

그림 10은 Mitsubishi Motors 인휠(In-wheel) 모터 시스템이며 그림 11은 NTN 인휠 모터 시스템으로 인휠 모터 시스템은 구동계를 컴팩트하게 정리할 수 있으며 다축으로 구성되는 통상적인 감속기와 함께 조합된 모터에 비해서 외경과 부피를 최소화 할 수 있다.⁽¹⁰⁻¹¹⁾ 따라서 차량의 레이아웃이나 디자인의 자유도 향상시킬 수 있는 장점이 있다.



(a) 독일 ZF사 동력시스템 (b) 캐나다 TM4사 동력시스템

그림 9 일체형 구동 시스템 실적용 사례

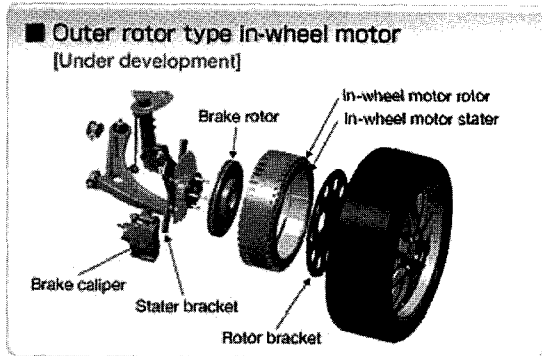
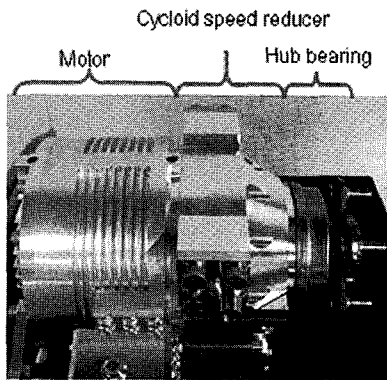


그림 10 Mitsubishi Motors 인휠 모터 시스템



In-wheel type motor integrated axle unit

그림 11 NTN 인휠 모터 시스템

마지막으로 4륜구동 하이브리드 전기자동차의 경우를 보면 각각의 전후륜 모터에 필요한 두 개의 모터제어기를 하나의 두지로 구성할 수 있다. 이와 같이 일체화 기술은 전기동력장치와 동력 전달계의 구성에 폭넓게 적용되고 있는데, 이는 또한 최근 부각되고 있는 부품모듈화와 부합되어 부품수 감소, 원가절감, 유지보수의 편리성 등에도 기여할 수 있으며 기존 자동차 시장의 변화의 요구에 신속, 정확히 대응하여 상기와 같은 일체형 구동시스템으로 확대적용이 가능하다.

5. 결론

본 고에서는 전기자동차 구동 시스템을 구성하는 핵심부품인 모터, 인버터, 동력전달부품, 그의 전장부품으로 구성된 전기구동 시스템에 대해 각 부품별 핵심기술, 적용사례, 연구방향에 대해 서술하였으며, 일체형 전기구동 시스템에 있어서 기술 현황과 특징, 적용성에 대해서 서술하였다. 전기자동차용 구동 시스템의 핵심 부품별로 소재, 재료 기술에 대한 연구가 더욱 필요하며, 전체 구동 시스템 측면에서는 고신뢰성, 고밀도, 고효율의 특성을 만족하기 위하여 차량 특성을 고려한 설계기술의 연구가 필요하다고 사료된다. 특히 차량 적용을 위한 다양한 일체형 구동시스템은 향후 전기자동차 구동 시스템으로 확대 적용 될 것으로 예상된다.

참고 문헌

- (1) “그린에너지 전략로드맵-그린카,” 한국에너지기술평가원, 2009.
- (2) “그린카 전기동력 시스템,” 전력전자학회 기술보고서, 2010. 7.
- (3) “하이브리드 전기자동차 구동용 전력변환장치,” 전력전자학회 논문지, pp. 420-429, 2008. 12.
- (4) “자동차의 파워(동력)혁명, 전기자동차의 모든 것,” A&D 컨설턴트, 2009. 1.
- (5) 홍정표, 허진, “차세대 자동차용 전동구동 시스템 개발 동향,” 대한전기학회지:전기의세계, 2010. 9.
- (6) 권중록, “친환경자동차 전기구동시스템,” 대한전기학회지:전기의세계, 2010. 4.
- (7) 임근희, “전기자동차의 도입환경, 기술현황, 보급정책, 경제성과 관련이슈,” 대한전기학회지:전기의세계, 2010. 4.
- (8) “상세기획보고서-Medium duty 상용전기차용 일체형 전기동력시스템 개발,” 한국에너지기술평가원, 2010.
- (9) Natsuki Nozawa, Takeshi Maekawa, Shigeyuki Nozawa, Ken Asakura, “Development of Power Control Unit for Compact-Class Vehicle,” SAE

International, 2009.

- [10] <http://www.mitsubishi-motors.com>
- [11] <http://www.ntn.co.jp>
- [12] <http://www.ornl.gov>
- [13] Koji Kariatsumari, "The Motor Revolutions Begins from Home Appliances: Using Washer/Dryer Technology in EVs," Nikkei Electronics Asia, May 2010.
- [14] Sakai, K.; Yuki, K.; Hashiba, Y.; Takahashi, N.; Yasui, K.; , "Principle of the variable-magnetic-force memory motor," Electrical Machines and Systems, 2009. ICEMS 2009. International Conference on, pp. 1-6, 15-18 Nov. 2009.

〈필자 소개〉



이상택(李尙澤)

1977년 2월 19일생. 2001년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년 동 대학원 전자전기제어계측공학과 졸업(공학박). 2003년~2009년 삼성전자 가전연구소 책임연구원. 2009년~현재 전자부품연구원 선임연구원.



조주희(趙柱熙)

1974년 7월 1일생. 2003년 한양대 대학원 전자전기제어계측공학과 졸업(석사). 2003~2004년 현대로템 중앙연구소 연구원. 2004년~2008년 코모텍 부설연구소 책임연구원. 2009년~현재 전자부품연구원 선임연구원.



김대경(金大慶)

1972년 9월 27일생. 2001년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 동 대학원 전자전기제어계측공학과 졸업(공학박). 2001년~2005년 삼성전자 가전연구소 선임연구원. 2005년~현재 전자부품연구원 디지털컨버전스

연구센터 센터장. 당 학회 학술위원.