

하이브리드 자동차의 에너지저장장치 기술특성

김 병 우

(울산대 전기전자정보시스템공학부 조교수)

지구 온난화 및 환경오염 문제가 국제적인 사회문제로 대두되면서 자동차로 인한 환경오염 문제에 대한 관심이 급증하고 있다. 이 같은 문제를 해결하기 위해서 국내는 물론이고 국외에서도 이에 대한 대안모색에 많은 노력을 경주하고 있다. 100년 동안 자동차 연료로 사용된 화석연료는 가격 경제성 측면에서 장점을 지니고 있지만 국제적인 환경규제 문제가 대두됨에 따라서 쇠락의 길을 걷게 될 것이라 판단된다. 국내의 자동차 업체에서는 지구 환경문제의 대표적 해결책으로서 하이브리드, 연료전지 자동차 개발에 주력하고 있는데, 이를 성공적으로 수행하기 위해서는 다양한 부품개발이 요구된다.

본 논고에서는 하이브리드 자동차 구현에 필수적인 에너지 저장장치와 이를 이용한 전력변환장치에 대한 기술특징을 살펴보고자 한다.

1. 서론

최근, 자동차 대수의 급증에 따라서 환경오염 문제에 대한 관심이 날로 증가하고 있다. 선진국 자동차의 수요량과 함께 개도국의 폭발적인 자동차 수요증가, 거대 인구가 포진한 중국, 인도, 러시아, 브라질의 성장에 따라서 환경문제에 대한 사회적 관심은 급증할 것이라 판단된다. 모든 자동차 메이커들은 차량관련 에너지 부족문제가 심화될 것이라 예측하고 있기 때문에 가까운 장래에 궁극적으로 대체 에너지를 개발하여

야 한다는 공감대를 형성시키고 있다.

미래형 대체에너지 자동차의 최종적인 귀결점이라고 생각되는 연료전지 자동차 경우 환경친화성 면에서 매우 우수하여 선진 각국 정부 및 자동차 메이커에서 개발에 박차를 가하고 있으나, 아직 기술적으로 해결해야 하는 여러 가지 문제점들과 수소 인프라 구축 등 기반 미비로 근시일내에 상용화할 수 없는 문제점을 내포하고 있다.

이러한 기술 및 환경 문제의 중간 대안으로 대두되고 있는 것이 하이브리드 자동차이다. 하이브리드 자동차는 선진 각국의 배기가스 규제에 대응할 수 있는 동시에, 적정 영역에서의 에너지 효율, 가속 성능 등 기존의 고전적인 내연기관 자동차보다 뛰어난 성능을 확보할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 환경오염 문제가 대두되면서부터 자동차 사용 환경에서 배출되는 이산화탄소는 온실효과 문제와 직결되어 환경 친화 차량의 개발의 사회적 공감대를 형성시키고 있다. 국내에서는 단기간에 하이브리드 자동차 기술을 상용화하기 위하여 시스템 측면의 기술개발에 주력하고 있다. 이 때문에 중장기적인 부품공급의 안정화와 경제제성 있는 하이브리드 자동차 개발에 장애요인으로 작용하고 있다. 이 같은 관점에서 하이브리드 자동차 산업의 경쟁력 확보가 가능한 전력관련 핵심부품 개발이 시급한 실정이다.

따라서, 본 기고에서는 하이브리드 자동차에 적용되고 있는 에너지저장장치와 이와 연관된 반도체 내용을 중심으로 기술

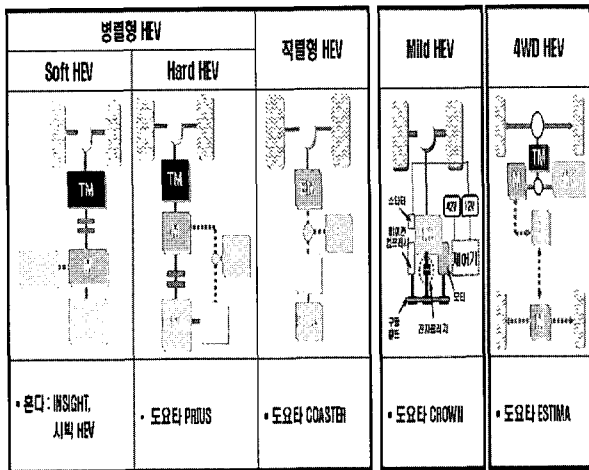
적 특성과 대응방안을 기술하고자 한다.

2. 하이브리드 자동차 특징

하이브리드 자동차는 엔진, 모터 및 변속기(또는 동력전달 장치)의 연결방법에 따라 직렬형(Series), 병렬형(Parallel), 복합형(Compound)으로 나눌 수 있는데, 이들 각각에 대해서도 그 제어방식에 따라 여러 가지 형태가 존재할 수 있다. 이들 중 직렬형의 경우는 엔진에서 발생하는 운동 에너지를 모두 전기에너지로 변환시켜, 이를 충전 및 모터 동력원으로 사용하는 방식으로 주로 버스 등 대형차량에 적용되고 있다. 이것의 제어방식 및 구조는 비교적 간단하고 배기가스 배출량을 최소화 할 수 있지만 최고출력에 한계가 있고, 에너지 효율이 낮으며, 전기 시스템의 용량이 커서 생산비용이 높다는 단점이 있다.

병렬형은 전동기의 출력이 비교적 작아도 충분한 목표 성능을 기대할 수 있지만, 시스템의 조합 및 제어가 직렬형보다 어렵고, 배기가스 저감은 상대적으로 불리하다. 한편 복합형은 앞의 두 시스템의 장점들을 모두 이용할 수 있으나, 시스템의 제어가 가장 복잡해지며, 동력 분할기 구개발 등이 부가되어야 한다는 특징이 있다.

위의 그림에서 알 수 있듯이, 다양한 구조를 지니고 있는 하이브리드 자동차는 모든 동력 에너지를 저장하고 관리할 수 있는 에너지저장장치가 요구된다. 하이브리드 자동차에 적용되고 있는 에너지저장장치는 Ni-MH, Li-Ion 전지를 이용하는 것이 대부분이기 때문에 이를 중심으로 하는 에너지 저장장치와 이를 효과적으로 관리할 수 있는 전용 반도체 개발이 필수적이다.



ENG: Engine G: Generator EM: Electric Motor TM: Transmission B: Battery

그림 1 하이브리드 자동차 구조

3. 에너지저장 및 전력변환 장치

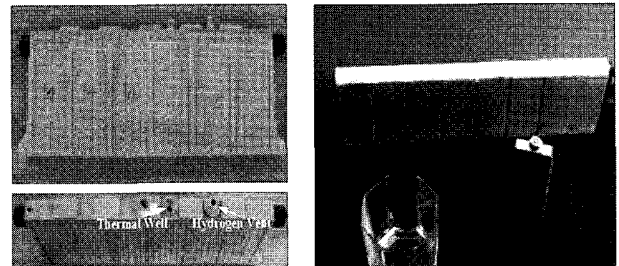
하이브리드 자동차는 구동기, 전력변환기, 에너지저장장치, 제어기 등의 다양한 요소로 구성되었다. 본 기고에서는 하이브리드 자동차의 에너지저장장치와 이의 모니터링 및 제어를 위한 전력변환장치 및 BMS 셀 모니터링 반도체를 중심으로 설명하고자 한다.

3.1 하이브리드 저장장치 특징

현재, 하이브리드 자동차에 적용되고 있는 에너지 저장장치는 Ni-MH와 Li-ION으로 크게 구분할 수 있다. 양산 관점에서는 Ni-MH가 가장 보편적으로 사용되고 있으나 최근, 성능과 크기 측면에서 경쟁력을 갖고 있는 Li-ION에 대한 관심이 급증하면서 양산 적용 비율이 증가할 것이라 판단된다. 하이브리드 자동차 시장을 독점하고 있는 Toyota는 세계에서 최초로 1997년부터 하이브리드 자동차를 시판하였다. 1997년에 출시된 Prius I HEV에는 일본의 PEVE(Panasonic EV Energy)에서 개발한 원통형 Ni-MH 전지를 채용하였으며, 2003년부터 판매되고 있는 Prius II에는 기존의 원통형 전지(6셀 모듈)에 비해 출력밀도를 크게 증대시킨 PEVE사의 각형 Ni-MH(6셀 모듈)를 탑재하고 있다. 또한, Lexus HEV에는 이 각형 전지의 디자인을 대폭 수정하여 출력밀도를 더욱 증대시킨 각형 Ni-MH(8셀 모듈)를 개발하여 사용하고 있다.

이 전지 팩은 1.2V-6.5Ah 용량의 셀이 240개 직렬 연결되어 288V의 전압을 나타낸다. Prius II HEV와 Lexus RX400h HEV에 적용된 Ni-MH 모듈의 제원과 주요사양을 다음 표에 기술하였다.

Honda의 Accord HEV와 New Civic HEV는 원통형의 Ni-MH 전지를 사용하고 있으며 MBI (Matsushita Battery Industries)로부터 전지 모듈을 공급받아 자회사에서 시스템화하여 차량에 탑재하고 있다. 전지 팩은 1.2V-5.5Ah 용량의 셀이 132개 직렬 연결되어 158V의 전압을 이룬다. 이 전



(a) Prius II Ni-MH

(b) Lexus Ni-MH

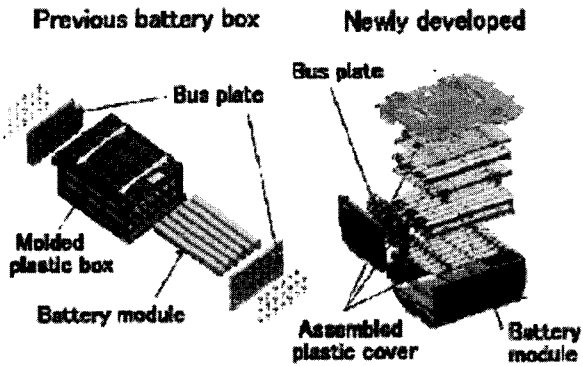
그림 2 일본 도요타 Ni-MH 전지

표 1 도요타 Prius II와 Lexus HEV의 Ni-MH 전지 사양

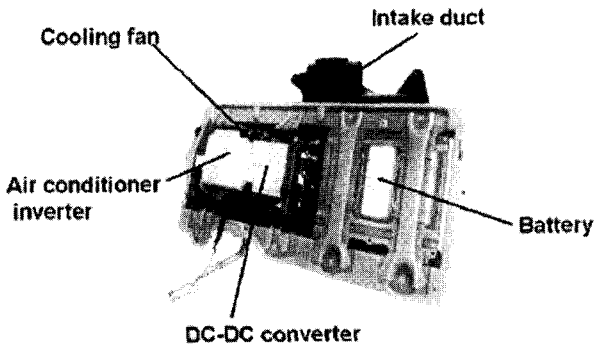
Items	Prius II Ni-MH	Lexus Ni-MH
Case Material	Plastic	Metal
Cell Number	6	8
Voltage	7.2V	9.6V
Capacity	6.5Ah	6.5Ah
Power	1352W	1800W
Power Density	2397W/L	2668W/L
Weight	1050g	1510g
Dimensions	19.6(W)X106(H) X271.5(L)	18.4(W)X96(H) X382(L)
Battery Height	174mm	142mm

표 2 New Civic HEV의 Ni-MH 전지 팩 사양

Items	New Civic
Cell Number	132
Voltage	158V
Capacity	5.5Ah
Power Density	656W/kg
Weight	32kg
Volume	24L



(a) Accord Ni-MH 전지 팩 구조



(b) New Civic Ni-MH 전지 팩 Layout

그림 3 Accord와 New Civic의 Ni-MH 전지 팩

지 팩은 그림에서 볼 수 있듯이 Inverter, LDC 및 Cooling Module과 통합패키지 형태로 구성되어 있으며 차량의 뒷좌석 등받이에 장착되어 있다.

Ni-MH 전지와 더불어 차기 하이브리드 시장에서 주목받고 있는 리튬이온 전지의 가장 큰 경쟁력은 에너지밀도와 출

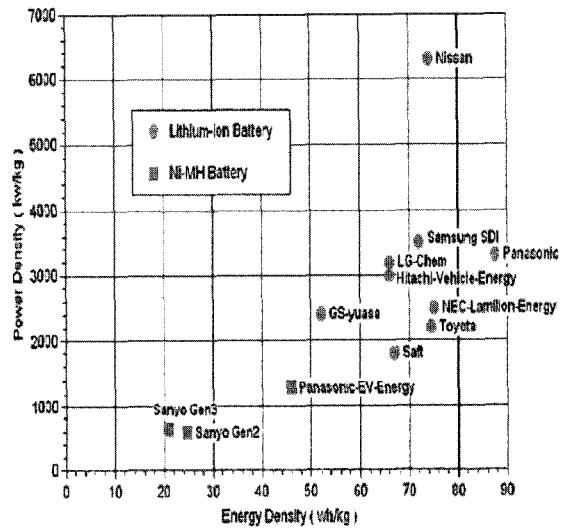


그림 4 HEV용 전지의 성능 비교

력밀도가 높다는 것이다. 이와 같은 이유에서 현재 시판되고 있는 대부분의 휴대폰이나 노트북 PC에 리튬이온 전지가 적용되고 있다.

하이브리드 자동차용으로 사용하기 위해 개발중이거나 이미 상용화된 대표적인 전지의 에너지밀도와 출력밀도를 다음 그림에 비교하여 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 리튬이온 전지의 출력밀도는 현재 양산중인 Prius HEV에 적용된 Panasonic Ni-MH에 비해 2배 이상 높으며 에너지밀도가 50% 이상 높다.

3.2 전력용 BMS 셀 전압 반도체

현재 HEV용 IGBT 및 모듈을 생산 공급하는 회사는 Infineon, Mitsubishi, Fuji가 대표적인데, Mitsubishi는 혼다 자동차의 Civic 등에 600V급 IGBT를 탑재한 3상 모듈을 공급하고 있는데, 타 회사와는 다르게 Punchthrough IGBT를 적용하고 있다. Mitsubishi의 IGBT는 온도 및 전류 검지 기능이 추가된 Intelligent IGBT 이다. Infineon은 IGBT의

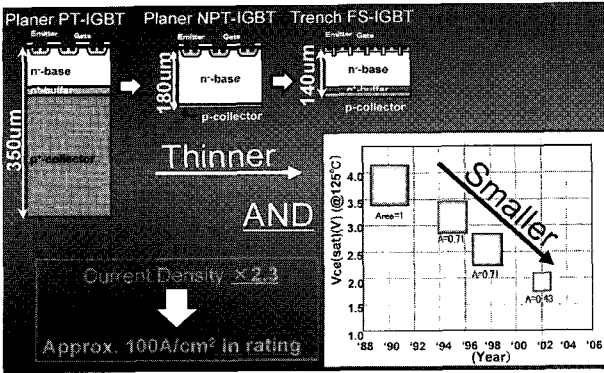


그림 5 IGBT 반도체의 발전 추이

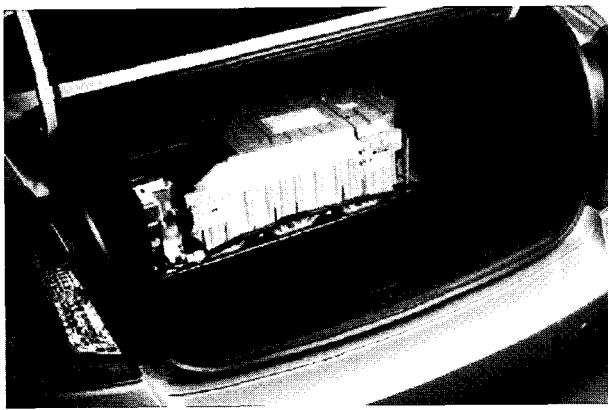


그림 6 베르나 하이브리드 자동차의 배터리 시스템

기술적 관점에서는 가장 진보된 Trench Gate의 Field Stop IGBT를 사용하고 있으며 칩 특성에서는 가장 앞선 경쟁력을 확보하고 있다. 현재는 별도의 센싱 기능이 없는 IGBT를 공급하고 있으나 다른 전력 반도체에 적용하는 기술을 볼 때, Sensing 기능의 추가는 빠른 시일 내에 이루어질 것으로 전망된다. Infineon 모듈을 사용한 HEV는 아직 없는 것으로 판단되는데, 국내 일부 자동차회사에서 공동 개발을 추진하고 있다.

Fuji의 경우 일부 자동차용 인버터에 적용된 것으로 보이는데 개발 단계에 있으며 따라서 자세한 기술의 정보는 상세히 알려져 있지 않으나 Fuji의 기타 IGBT의 기술적 경향으로 볼 때, Planar gate의 NPT IGBT가 사용되는 것으로 판단된다. 도요타 자동차의 경우 자사에서 개발, 생산된 IGBT를 사용하고 있다. 도요타 IGBT의 경우 최근 전까지는 Planar gate 구조의 PT IGBT를 사용하고 있었으나 최근에는 Trench NPT IGBT의 적용이 이루어지고 있는 것으로 판단된다.

에너지저장시스템은 Ni-MH계, Li계 그리고 초고용량 커패시터계로 나눌 수 있는데, Ni-MH계가 전체시장을 장악하

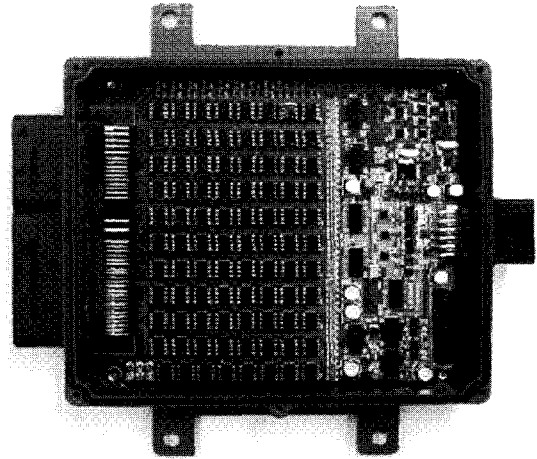


그림 7 89개의 PhotoMOS Relay를 사용한 BMS 셀 관리장치

고 있으나 최근 소재의 우월성을 바탕으로 Li계와 초고용량 커패시터계가 대체 에너지저장장치로 개발이 진행되고 있다. 에너지저장시스템은 수십 개의 단일 셀로 이루어지며, 셀 수명 유지, 가용 출력량 확보를 위해서는 배터리관리장치(BMS)를 통한 셀전압, 온도, 전류측정이 요구된다. 현재, 고용량 고출력을 위하여 배터리 셀을 80셀 이상으로 대형화하는 추세이다. 지금의 BMS 방식은 전압측정부, 스위치 제어부, A/D 변환부, 통신부 등이 모듈로 분리되어 있다.

국내에서는 1990년대 중반이후부터 전기자동차 및 하이브리드 자동차용 배터리시스템의 셀관리 제어기 연구가 활발히 진행되었으며, 현재 셀관리 제어기 관련 기술은 선진국 대비 90%이상이라고 볼 수 있다. 연료전지시스템은 420개~450여개의 셀로 이루어지며, 이 셀들의 전압은 자동차 전장시스템과 절연된 채로 측정되어야 한다. 셀 전압을 2개 또는 3개 단위로 측정할 경우 150 채널로 측정을 할 수가 있으며 이때 2채널당 1개의 PhotoMOS Relay가 소요되어 80여개 이상이 사용된다.

특히, Ultracapacitor를 활용한 에너지 저장시스템의 경우 150셀 이상으로 구성되며 절연을 위해 30개에서 40개의 PhotoMOS Relay가 필요하다. BMS 셀 관리 제어기에 있어서 측정전압의 절연은 차량 안전성을 위해서 필수적인 요소이다. 하지만 PhotoMOS Relay를 포함한 전압측정용 절연용 반도체의 국내기술은 전무하여 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다.

이에 반하여 선진국에서는 BMS 전용의 모니터링 장치를 활용하여 성능과 경제성을 추구하고 있다. 일본의 히타치는 하이브리드차 및 연료전지차용 이차전지 제어에 사용 가능한 전용 반도체를 개발하여 시범적용하고 있으며, 이를 국내 전

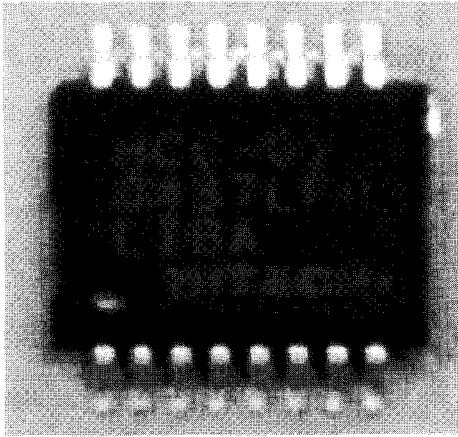


그림 8 히타치가 개발한 BMS 제어용 전용 반도체

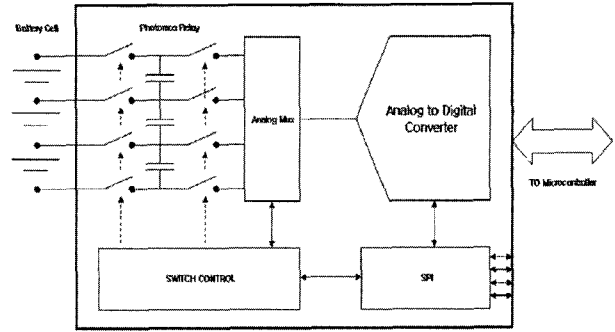


그림 10 BMS 셀 관리 SoC의 블록 다이어그램

표 3 BMS 셀 관리 반도체의 대표적 사양

구분	사양	평가 항목
회로 설계	저스위칭 손실형, 고응답, 고집적화 PhotoMOS Relay 설계	1. 8개 PhotoMOS Relay 집적화 2. 소비전력 : 500mW 이하
	고신뢰성 10-bit ADC 설계	분해능 0.5%, 0.1% 선형성
내환경 특성	온도 특성	-40℃~85℃
전기적 특성	ESD (Chip Level)	1. HBM : ±1500V 2. MM : ±200V 3. CDM : ±500V

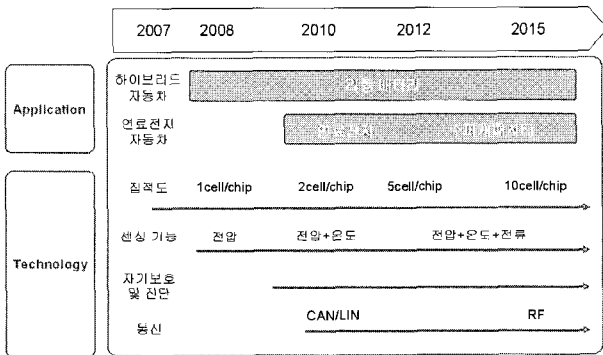


그림 9 BMS 셀관리 SoC 기술로드맵

용으로 제공하여 자국의 친환경차 경쟁력 확보를 위하여 노력하고 있다. 따라서, BMS 셀 전압 측정회로에 사용되는 PhotoMOS Relay의 개발 수준은 일본이 가장 우수하다.

BMS용 셀 전압 검지장치는 앞서 언급한바와 같이 하이브리드, 연료전지 자동차에 공히 사용되는 것으로서 현재에는 하나의 칩에 하나의 셀을 처리하는 수준이나 2015년 전후에는 하나의 칩에 10개 셀을 처리할 수 있는 반도체 개발이 예상된다. 또한, BMS 장치에서 가장 중요한 전압 검지만이 아닌 전압, 온도, 전류를 동시에 검지할 수 있을 것이다. BMS 장치의 이상 유무와 전체 차량 제어기와의 인터페이스를 위하여 통신 네트워크 기능이 부가될 것이라 예상된다.

하이브리드 자동차에 적용될 수 있는 일반적인 수준의 BMS 셀 모니터링 장치의 사양을 나타내면 다음과 같다.

- 전력 소비율 : 500mW 미만
- Isolated voltage sensing 회로 : I/O isolation 600VAC 이상

- A/D Converter : 10bit이상의 분해능 확보
- SPI 통신 : 속도 200kbps 이상
- 신뢰성 확보 : 차량 전장품에 준하는 내구성 확보 (JASO, ISO 기준 통과)

4. 결론

국내 하이브리드 자동차 기술개발 역사는 선진국에 비하여 짧은 것이 사실이나 완성차업체를 중심으로 다양한 기술개발 노력을 기울이고 있다. 하이브리드 자동차의 핵심적인 역할을 담당하는 에너지저장장치는 다른 하이브리드 핵심부품에 비하여 선진국대비 일정한 기술 경쟁력을 보유하고 있다. 일부 국내 자동차 업체에서는 기존 Ni-MH 전지보다는 Li-ion 전지를 적용한 상용화 계획을 추진하고 있기 때문에 전지 분야에 있어서는 국제적인 경쟁력을 확보할 수 있는 가능성이 나타나고 있다. 하이브리드 자동차용 Li-ion 전지를 양산화하기 위해서는 가격 경쟁력 확보를 위한 양산화 기술개발이 시급한 실정이다. 그러나, 이를 효율적으로 관리하고 제품 경쟁

력 확보를 위한 반도체 분야에 있어서는 선진국대비 매우 뒤 떨어진 것이 사실이다. 이 같은 문제점을 해결하기 위해서는 민간기업에서 수행하기 어렵고 투자 위험성이 큰 자동차 반도체와 같은 분야를 집중적으로 육성할 필요성이 증대되고 있다. 따라서, 정부에서는 자동차에 적용 가능한 에너지저장장치관련 핵심 부품 및 반도체를 산학연이 공동으로 개발할 수 있는 지원체계 구축 및 운영이 필요하다. ■

참고 문헌

- [1] HEV Market Report 2006, HIEDGE Institute Ltd., 2006.
- [2] Proceedings of the Fifth International Advanced Automotive Battery & Ultracapacitor Conference, 2006.
- [3] Xiao, Y. Cao, J. Chen, J.D. Spring, K. "Current sensing trench power MOSFET for automotive applications", Applied Power Electronics Conference and Exposition IEEE, 2005, pp.766-770, March 2005.
- [4] Forghani-zadeh, H.P. Rincon-Mora, G.A. "Current-sensing techniques for DC-DC Converters", Circuits and Systems, pp. 577-580, 2002.

< 저 자 소 개 >



김병우(金炳禹)

1964년 3월 23일생. 2002년 한양대 정밀기계공학과 졸업(공학). 1989년~1994년 (주)카스 센서연구소 주임연구원. 1994년~2006년 자동차 부품연구원 전장기술연구센터 센터장. 2006년~현재 울산대 전기전자정보시스템공학부 조교수.