

특집 : Plug-In Hybrid 그린카

그린카 구동용 인버터 기술 동향

권태석, 이현동
(현대모비스 책임연구원)

1. 서론

최근 지구환경 및 석유자원 고갈문제로 전기, 하이브리드, 연료전지 자동차등과 같은 친환경자동차, 즉 그린카에 대한 관심이 커지고 있다. 특히 교토의정서 발효에 따른 온실가스 저감과 CO2 저감 규제에 의해, 친환경 자동차 기술 개발이 선택이 아닌 생존의 문제로 인식되는 단계에 이르렀으며, 1997년 Toyota가 세계 최초의 하이브리드 자동차인 'Prius'를 출시한 이후 2004년까지 하이브리드 누계 판매대수는 20만대를 넘어섰고 앞으로 매년 지속적인 성장을 할 것으로 예측되고 있다.

현재 그린카 시장은 크게 도요타의 프리우스를 위시한

Power split 방식과 혼다의 씨빅, 인사이트 등을 포함하는 IMA (Integrated Motor Alternator) 방식의 차량이 약 90%를 차지하고 있다.

본 고에서는 도요타와 혼다의 최신 하이브리드 차량인 프리우스 III과 인사이트의 구동용 인버터의 특징 및 기술 동향을 기술하기로 한다.

2. 도요타 프리우스

그림 3에 도요타 프리우스의 전기구동장치를 간략히 나타내었다. 도요타 프리우스의 전기구동장치는 주로 구동 운전을 하는 모터와 발전 운전을 하는 발전기, 두 대의 전기기기

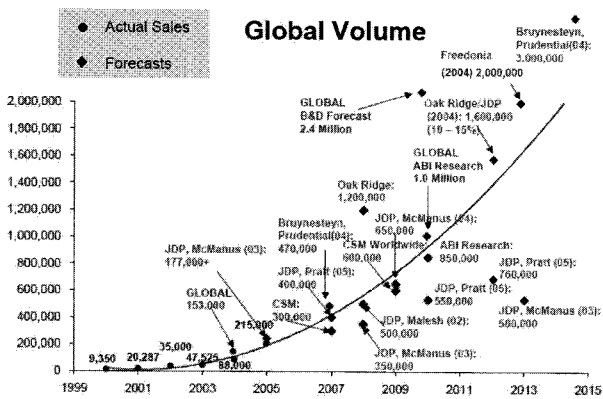


그림 1 하이브리드 자동차 시장의 성장

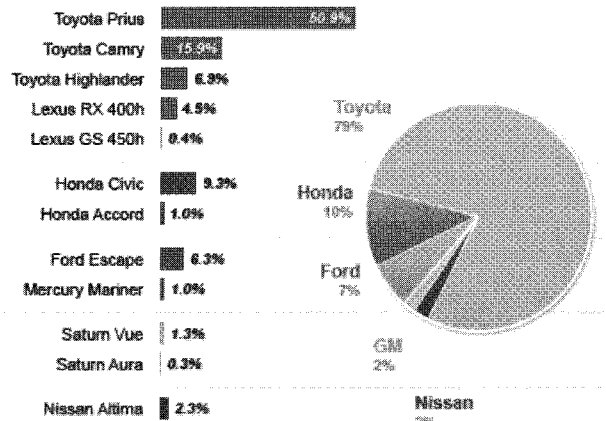


그림 2 하이브리드 자동차 시장 점유율

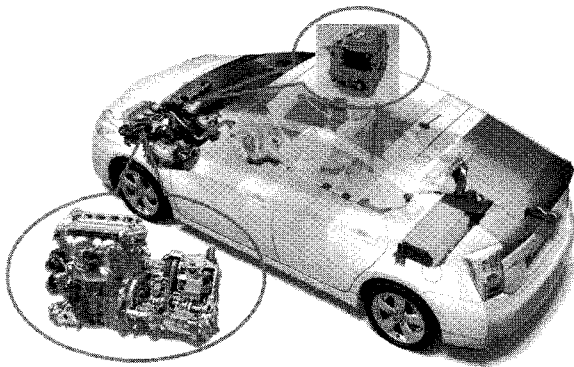


그림 3 도요타 프리우스 전력구동장치

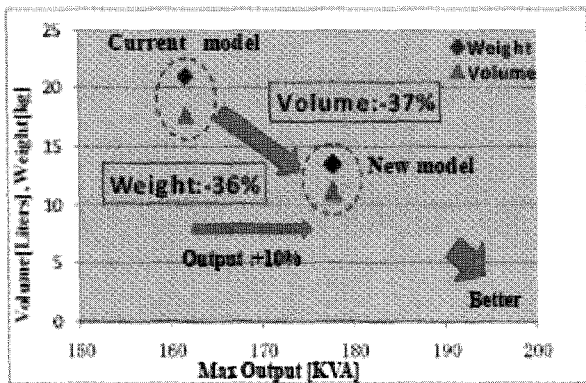


그림 4 3세대 프리우스의 PCU 크기 및 중량 변화

로 이루어져 있으며, 따라서 PCU(Power Control Unit)는, 각각의 전기기기를 제어하기 위한 두 대의 인버터, 그리고 배터리 전압으로부터 승압하여 인버터의 직류단 전압을 공급하는 승압형 컨버터로 구성되어 있다.

그림 4에서 나타낸 바와 같이 3세대 프리우스에 적용된 PCU는 기존 2세대 프리우스의 PCU에 비하여, 출력은 약 10% 정도 증가했으며, 중량과 부피는 각각 36%, 37% 감소하였다. 이를 위하여 3세대 프리우스의 PCU에 적용된 주요 기술들을 살펴보기로 한다.

2.1 직류단 전압 상승

3세대 프리우스의 PCU는 그림에서 보듯, 최대 직류단 전압을 기존의 500V에서 650V로 증가시켰다. 이와 같이 전압을 증가시킴으로써, 고속 회전이 가능한 모터를 적용시킬 수 있게 되어, 모터의 최대 속도는 기존의 6000r/min에서 13000r/min으로 크게 증가되었으며 출력도 50kW에서 60kW로 증가하였다. 통상 같은 출력의 모터라고 하더라도 저속 고토크의 모터보다는 고속 저토크의 모터가 크기 및 중

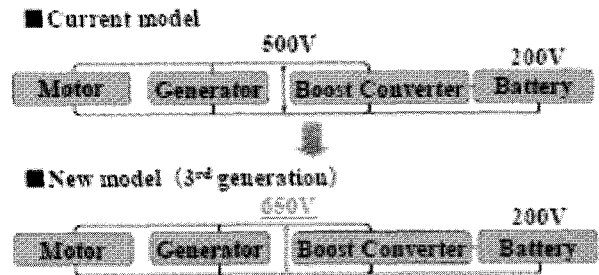


그림 5 3세대 프리우스 PCU의 전력회로 변화

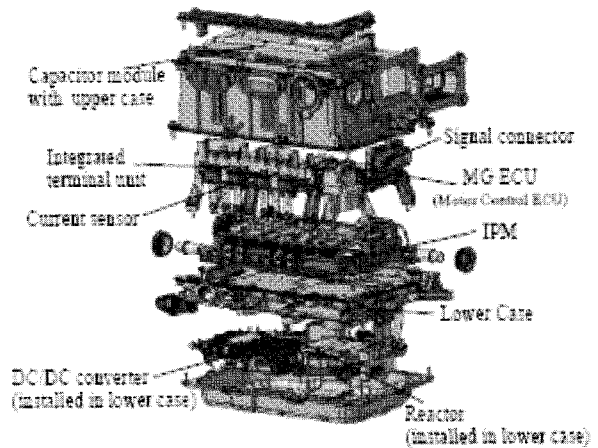


그림 6 3세대 프리우스의 PCU 구조

량에서 유리하며, 상대적으로 적은 전류를 필요로 하게 된다. 따라서 이와 같은 직류단 전압의 고전압화와 모터의 고속화로 인한 전체 시스템 효율의 상승을 기대할 수 있게 되며, 도요타 측의 발표자료에 의하면 100km/h의 차량속도에서 약 14%의 연비 향상 효과를 얻을 수 있었다고 한다.

2.2 양산성 개선 설계

그림 6에서 볼 수 있듯이, 3세대 프리우스의 PCU는 모터와 발전기의 인버터와 승압형 컨버터, 그리고 저전압 DC/DC 컨버터로 이루어져 있다. 3세대 프리우스 PCU에서는 모터 및 발전기용 전력반도체 모듈뿐 아니라, 승압형 컨버터용 전력반도체 모듈이 하나의 패키지에 통합되어 있으며 뒤에서 설명할 직접 냉각(direct cooling) 방식을 적용하여 전력반도체 모듈과 케이스간의 썬벌 그리스(thermal grease) 사용을 배제하였다. 또한, 승압형 컨버터용 리액터와 하단 케이스, 모터와 발전기용 단자대, 신호용 와이어 하네스와 브라켓 등 유사 부품들을 통합하여 부피와 무게를 감소시켰을 뿐 아니라, 그림 7에 나타낸 바와 같이, 조립 공정 및 부품 수도 감소

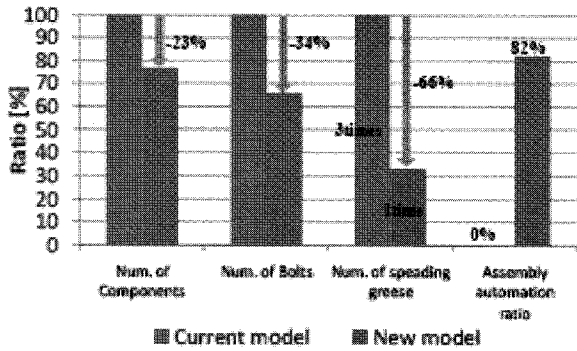


그림 7 3세대 프리우스 PCU의 양산성 개선

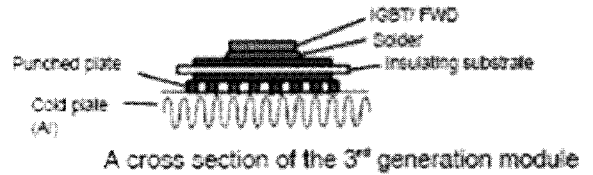
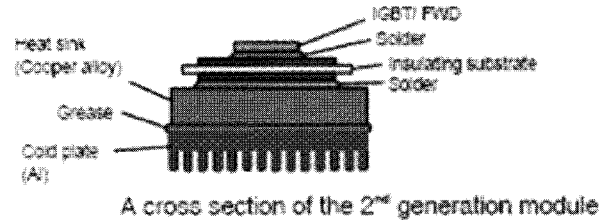


그림 9 전력반도체 모듈의 구조

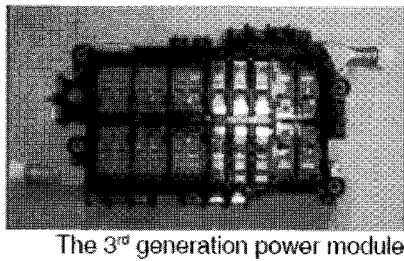
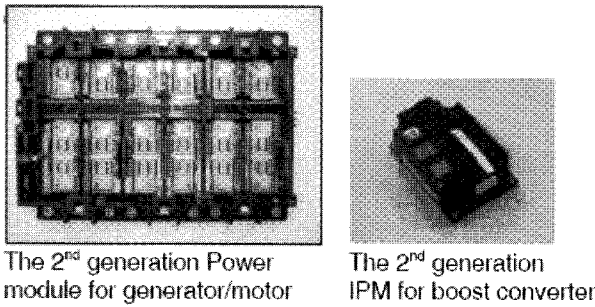


그림 8 전력반도체 모듈의 변화

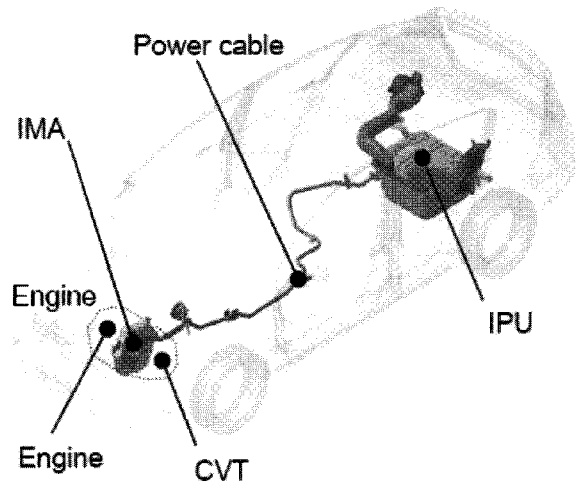


그림 10 혼다 인사이트의 IMA 시스템

시켰다.

2.3 전력반도체 모듈

3세대 프리우스의 PCU에 사용된 전력반도체 모듈은 앞서 설명한 바와 같이 모터용 인버터, 발전기용 인버터, 승압용 컨버터가 하나의 패키지에 통합되어 있으면서도, 그 크기는 모터용 인버터와 발전기용 인버터만이 통합되어 있는 이전 세대의 전력반도체 모듈과 동일하게 유지하였다. 전력반도체 모듈의 크기는 전력반도체의 방열 특성과 밀접한 관계가 있으므로, 전력반도체 모듈의 크기를 줄이기 위해서는 전력반도체의 냉각 방식을 개선하거나, 전력반도체에서 발생하는 손실을 저감시켜 방열 자체를 낮춰야 한다.

3세대 프리우스의 PCU에서는 기존의 플래너 게이트

(Planer gate) 구조에서 트렌치 게이트(Trench gate) 구조로 변경하여, 칩의 전류 밀도를 약 5배 정도 향상시켰으며, 또한 그림 9와 같이 냉각 구조를 개선하여 직접 냉각 방식을 적용함으로써, 약 30%의 냉각 효율을 향상시켰다.

3. 혼다 인사이트

혼다 인사이트의 경우 전기 구동 장치는 IMA(Integrated Motor Assist)라고 불리는 모터와 모터를 제어하기 위한 인버터, 배터리, 저전압 DC/DC 컨버터가 하나의 모듈에 탑재된 IPU(Integrated Power Unit)로 구성되어 있다.

그림 11과 같이 신형 인사이트의 IPU는 기존의 IPU에 비하여 무게는 28%, 부피는 19% 감소시켰다. 또한, 뒷좌석 등받이 뒤에 위치하였던 기존의 IPU를 트렁크 아래쪽의 공간으

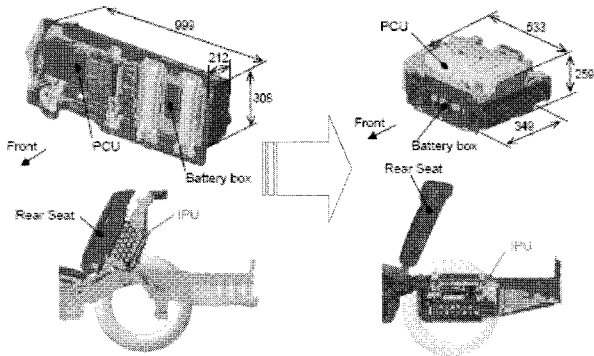


그림 11 IMA시스템과 장착 위치의 변화

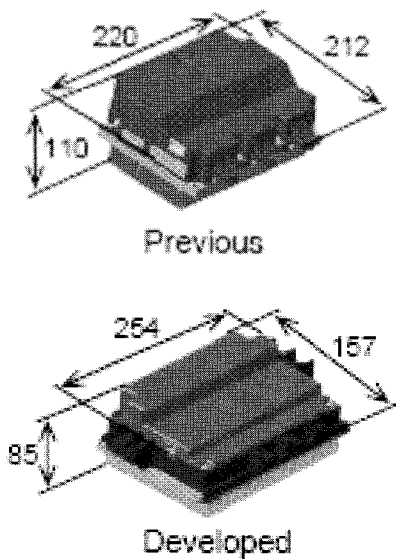


그림 12 혼다 인사이트 인버터의 변화

로 옮겨 차량의 무게 중심을 낮추었으며 더 넓은 적재 공간을 확보할 수 있게 되었다. 하지만 앞서 살펴본 도요타 프리우스가 이전 모델에 비해 소형 경량화 하면서도 전력 용량을 증대시켰던데 비해, 혼다의 신형 인사이트는 이전 모델에 비해 전력 용량은 15.5kW에서 13.5kW로 약 13%정도 감소시켰다.

그림 12에 신형 인사이트에 적용된 인버터와 기존 모델에 적용되었던 인버터를 도시하였으며, 기존의 인버터에 비하여 무게는 36%, 부피는 35% 감소하였다.

3.1 직류단 캐패시터 용량

혼다 인사이트에 사용된 IMA시스템에서 배터리와 인버터는 직결되어 있다. 따라서 배터리가 인버터로부터 분리되어 있는 경우, 모터로부터 유기되는 회생 전력은 곧바로 직류단 캐패시터를 충전하게 되고, 직류단 전압은 상승하게 된다. 전

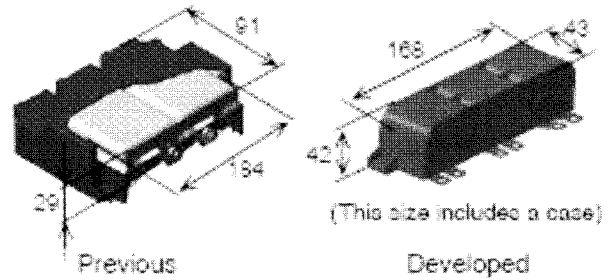


그림 13 직류단 캐패시터 크기 변화

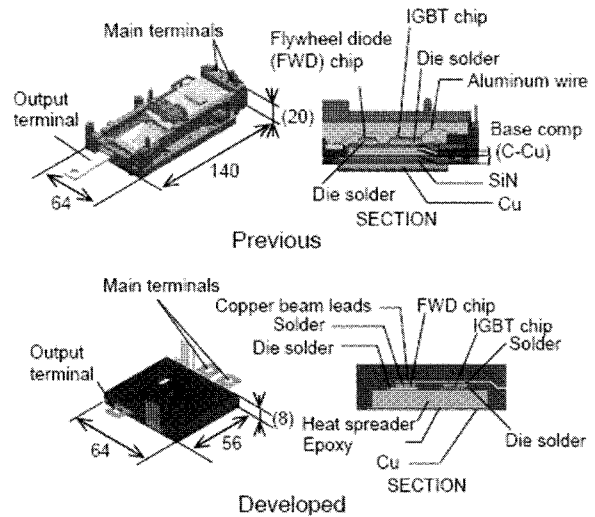


그림 14 전력반도체 모듈의 변화

력반도체의 과전압에 의한 고장을 방지하기 위하여는 직류단 전압을 검출하여, 일정 수준 이상일 경우, 회생 전력의 유입을 막아야 한다. 신형 인사이트의 인버터에서는 과전압 검출 회로에서 생길 수 있는 지연을 최소화하여 과전압 검출로부터 회생 전력의 차단에까지 소요되는 시간을 최소화하였으며, 이로 인해 직류단 캐패시터의 용량을 기존 모델의 50%로 축소시킬 수 있었다.

3.2 전력반도체 모듈

혼다 신형 인사이트에 사용된 전력반도체 모듈은 본딩 와이어(bonding wire)의 재질을 알루미늄에서 구리로 변경하였으며, 전체적인 패키지 구조 개선을 통하여 약 60%의 소형화를 달성하였다.

3.3 냉각 구조

혼다의 IMA 시스템의 경우, 인버터를 비롯한 전력 변환 장치들은 강제 공냉식의 냉각 방식을 사용하고 있다. 그림 15에

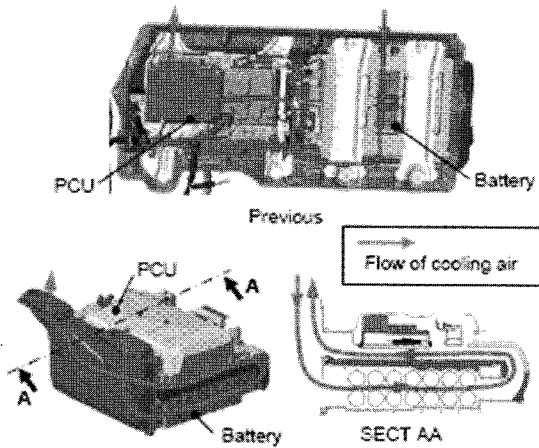


그림 15 혼다 인사이트 IPU의 냉각 유로

나타낸 바와 같이 냉각을 위한 공기의 유로는 배터리를 거쳐 전력 변환 장치를 지나게 되어 있으며, 기존에 다소 굴곡이 많은 유로를 신형 모델에서는 단순화하여 냉각 효율을 증대하였다.

4. 결론

지금까지 그린카 시장에서 선도적인 역할을 하고 있는 도요타와 혼다의 구동용 인버터의 특징과 적용 기술들을 살펴보았다. 양 사의 기술 동향을 보면 전기 구동 부품의 소형화와 경량화에 많은 노력을 기울이고 있음을 알 수 있으며, 이를 위하여 전력반도체 칩 설계 기술, 패키징 기술 및 냉각 기술 등이 핵심 기술 요소임을 알 수 있다. 또한, 최근 관심이 고조

되고 있는 플러그-인 하이브리드 방식의 그린카에서는 배터리 동력만으로 차를 운행하는 거리가 증가하게 되고, 따라서 모터 및 인버터의 용량은 더욱 증대되어야 하며, 더 작고 더 가볍지만 더 큰 파워를 제어할 수 있는 인버터 기술이 요구될 것은 명확하다. 또한 도요타가 시스템 전압을 상승시킴으로써, 전기 구동 시스템 전체의 성능을 향상시키면서도 소형화 경량화한 것을 볼 때, 각 부품 단계의 성능 향상뿐만 아니라, 각 부품간의 이해 관계를 절충하여 조합할 수 있는 시스템적 측면에서의 고찰도 필요하다 하겠다. ■

〈 필 자 소 개 〉

권태석(權泰碩)



1973년 2월 22일생. 1995년 한양대 전기공학과 졸업. 1997년 한양대 전기공학과 졸업(석사). 1997년~2003년 현대 엘리베이터 기술연구소 근무. 2007년 서울대 전기컴퓨터 공학부 졸업(공학박). 2007년~2008년 서울대 박사후 연구원. 2008년~현대모비스 책임연구원.

이현동(李炫東)



1969년 10월 7일생. 1993년 서울대 공과대학 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1999년~현재 현대모비스 책임연구원.