

도요타 42V 차량 전원체계 소개

박 해 우 / 현대모비스 카트로닉스연구소

서 론

에너지 소비에 따른 오염물질 발생과 주로 화석연료 연소과정에서 발생하는 CO₂로 인한 지구 온난화는 그에 따른 자연 환경 파괴로 이어지며 이대로 계속해서 진행이 된다면 인간의 생존 자체가 위협 받게 되는 상황에 도달 할 수도 있다는 것이다.

이에 따라 세계 각국에서는 환경오염을 예방하기 위한 공해 배출 규제를 점차 강화하고 있으며, 특히 여타 분야에 비해 석유에 대한 연료 의존도가 매우 높고 자동차 대중화에 따라 대기오염에 미치는 영향이 매우 큰 자동차에 대한 배기가스 규제가 갈수록 규제수위가 강화 되고 있다. 1900년대 초에 차량에서의 전기 장치는 조명, 엔진의 시동 및 점화 정도로 한정되어 있었다. 그러나 조명 장치의 개선 및 점차 증가하는 전기 부하는 더 높은 전력을 요구하게 되었고, 결국 1950년대 말에 대부분의 차량은 기존에 사용되던 6V 시스템 환경에서 12V 축전지를 사용하는 시스템으로 교체되어 현재에까지 이르고 있다.

전원 시스템이 12V 시스템 체계로 교체된 이후에도 차량에서의 요구 전력량은 지속적으로 증가하여, 구체적으로 1970년까지는 매년 2% 정도의 증가세를 보였으며, 그 후 30년간은 6% 대의 높은 증가율을 기록하고 있다. 더욱이 최근 급격한 차량의 전자화 및 멀티미디어, IT 이동통신 추세가 진행됨에 따라 차량에서 요구되는 전기 에너지는 급격히 증가하고 있으며, 향후 이 증가율은 더욱 커질 것으로 전망되고 있으며 이에 대한 대응방안으로 보조전원 전압을 42V

화 시켜 보다 많은 전력 공급 능력을 꾀하고 있다. 논문에서는 이러한 42V 시스템에서 주요 핵심부품인 도요타의 일체형 시동 및 발전장치 (ISG), ISG 제어기 및 전력변환장치 개발에 대해서 기술하고자 한다.

본 론

지공해 및 미래형 대체에너지 자동차분야에서 가장 독보적인 선형 개발 기술력과 양산 기술력을 보유한 일본 도요타의 경우는 이미 1997년에 시장에 HEV 차량을 출시 이미 10만대 판매에 근접하고 있는 프리우스(Prius) HEV 자동차 양산개발 기술력 및 경험을 바탕으로 하여 세계 최초로 2001년 하반기부터 42V 시스템으로 구성된 차량을 크라운 모델에 적용하여 양산하고 있으며 판매부분에서도 2001년 하반기 1,500여대 2002년 상반기에도 그러한 판매 추세를 이어가고 있다. 도요타 크라운 42V 시스템 차량 및 부품 구성도는 아래 그림과 같다.



그림 1 도요타 크라운 42V 전원체계 차량

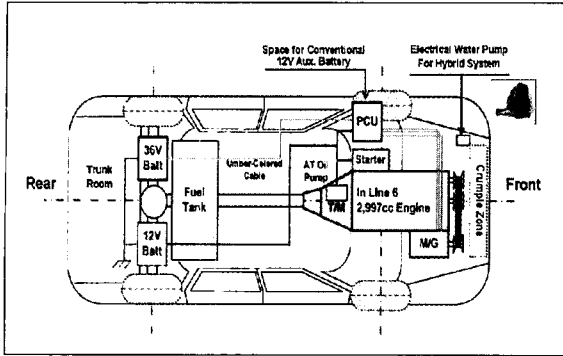


그림 2 도요타 크라운42V 차량 부품장착도

차량은 기존 3,000cc 크라운 모델을 기초로 하여 42V 시스템으로 개조 개발하여 구현하였으며 초기 적용 모델은 배기량 3,000cc급을 대상으로 하였으며 이후 2,500cc급에도 확대 적용하였다.

42V 시스템화 하면서 신규로 개발 적용한 부품으로는 크게 에너지 저장장치, 차량 상위제어장치/모터 제어장치 및 전력변환장치 모듈, 모터/발전기 모듈부품, 10-Rib 구동벨트, Solenoid 클러치 등으로 크게 나눌 수 있다.

모터/발전기 모듈부품 및 구동벨트, Solenoid Clutch 부품은 차량 기존 엔진배치가 종 배치로 인해 차량 엔진 룸 전방에 위치한 빈 공간(Crumple Zone)을 충분히 활용하여 장착이 용이하게 된 점이 크며 또한 이러한 차량특성으로 인해 초기 구현차량으로 Crown 모델로 선정된 것으로 예상된다. 또한 기존 공조장치용 에어컨 Compressor, Power Steering용

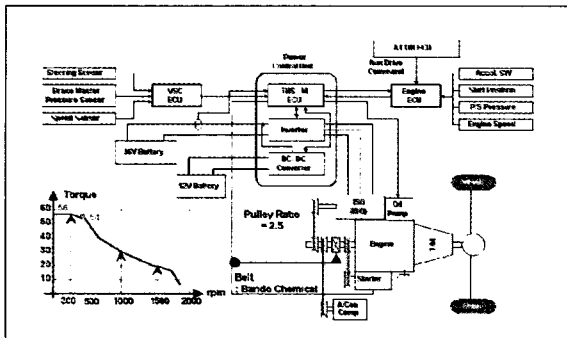


그림 3 도요타 크라운 42V 시스템 제어체계

Pump는 Solenoid Clutch를 통해 엔진은 물론 모터에 의해서도 구동될 수 있도록 되어있다.

전체적인 제어 구성체계는 아래 그림과 같다.

차량의 제어기능을 크게 나누어보면 아래와 같다.

- 정차 Mode
엔진은 모터에 의해 Smooth Stop되며 에어컨 및 파워 스티어링 펌프는 모터에 의해 구동된다.
- 정차 후 차량 재출발
브레이크 해제와 동시에 모터는 차량을 구동하게 되며(EV Mode), Accelerator가 입력되거나 일정시간 지속 후에는 엔진을 시동시키게 된다.
- 차량 일반주행
차량은 엔진에 의해 구동.
- 차량 감속
주행모드에서 브레이크 값이 입력될 경우 차량의 감속에너지를 이용하여 모터는 발전기로 동작하여 전기에너지를 배터리에 충전하게 된다.

1) 42V 관련 주요부품 분석

(1) 에너지 저장장치 (36V Battery)

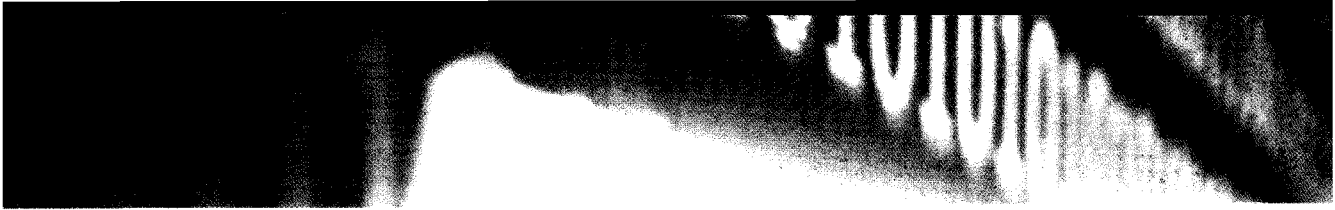
일본 Japan Storage Battery (GS)사에서 개발하였으며 그 사양은 아래와 같다.

표 1 에너지 저장장치 사양

구분	내용
모델	S36V-D26A
전압	36V
용량	20Ah
중량	27.5 kg
외형(mm)	260(L)×173(W) ×219(H)



신규로 개발된 36V 배터리의 출력성능을 크게 좌우하는 내부저항 특성은 초기 약 30mΩ내외로 예상되며 차량에서 충전, 방전을 거듭하면서 50mΩ에 까지 상승할 경우 수명 종료로 시점으로 판단하는 것으로 분석이 되며 내부저항 변화에 따른 배터리 출력특



성 변화는 배터리 특성 일반 공식을 사용하여 분석해 볼 경우 아래 그림과 같다. (* 각종 발표 논문 기준)

$$P_{ideal} = \frac{V_{oc}^2}{4R_i}$$

$$P_{actual_max} = \frac{V_{end} \times [V_{oc} - V_{end}]}{R_i}$$

P_{ideal} : 이론적 배터리 최대출력

P_{actual_max} : 실제 가용 배터리 최대출력

R_i : 배터리 DC 내부저항

V_{oc} : 배터리 개방전압

V_{end} : 배터리 방전 종료전압

= 전력제어장치 동작 최소전압

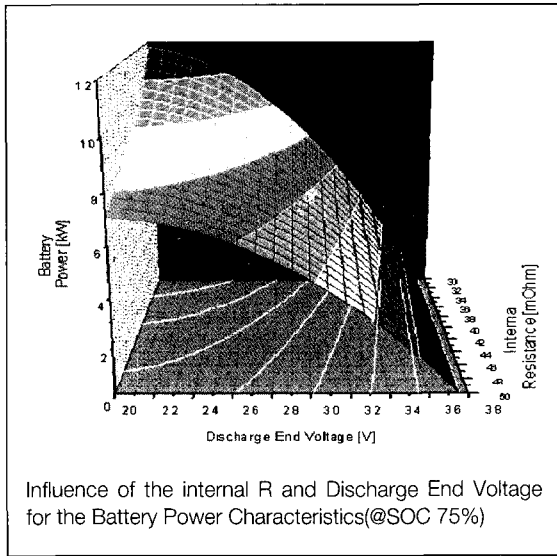


그림 4 배터리 출력특성

각종 성능지수를 기초로 분석할 경우 배터리의 방전 종료전압을 20 ~ 30V로 변화시키며 내부저항 변화에 따라 유추하면 약 12 ~ 6kW의 출력특성을 나타낸다.

또한 36V 배터리는 제조 후 이동, 보관 및 차량 조립대기 과정에서 전기적 안전성 유지, 차량 장착공정에서 전기적 사고를 방지하기 위하여 배터리 인터페

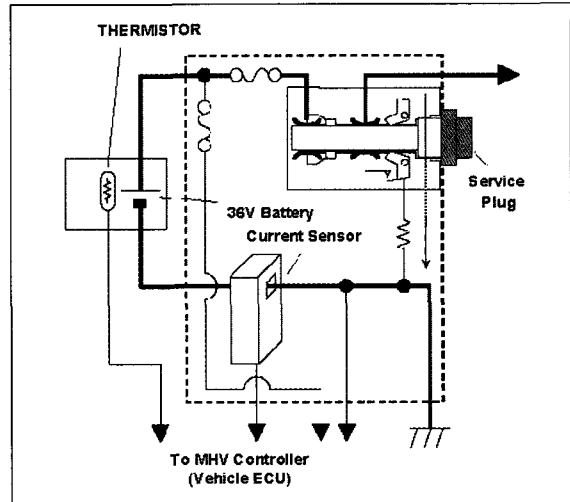


그림 5 배터리 인터페이스 박스

이스 박스를 설치하여 부착하였으며 그 구성은 위와 같다.

배터리 인터페이스 박스에는 과전류 차단용 퓨즈, 배터리 입출력 전류 측정을 위한 전류센서, 수동으로 배터리 전력을 연결 및 차단할 수 있는 Service Plug 등으로 이루어져 있다.

특히 Service Plug는 위에서 언급한 기능 뿐 만 아니라 몇 가지 중요한 기능을 포함하고 있다.

첫째, 42V관련 부품장착이 모두 이루어진 후 42V 전원을 연결할 경우 모터 제어장치 및 전력변환장치 입력부에 위치한 커패시터로 큰 돌입전류가 흐르는 것을 방지하기 위하여 Off상태에서 On상태로 전환할 경우 일정시간 동안 저항역할을 함으로써 돌입전류를 감소시키게 된다.

둘째, 차량 정비가 필요할 경우 차량 42V관련부품 계통에 전원을 차단할 필요가 생기게 되며 42V관련 부품이 동작한 다음의 경우 모터제어장치 및 전력 변환장치 입력부 커패시터에는 충전 전압이 존재하게 된다. 이러한 충전 전압은 Arc를 발생시킬 수 있어 Service Plug를 On에서 Off상태로 전환할 경우 일정 시간 동안 (+)전원과차량 그라운드 사이에 저항을 통하여 연결시켜 줌으로써 커패시터에 충전된 전압을

기·획·시·리·즈 · ②

방전시켜 전기적 Arc발생을 방지하게 설계되어 있다.

(2) 모터 제어장치 및 전력변환장치

모터 제어장치 및 전력변환장치 모듈은 일본 Denso사에서 개발하였으며 사양은 아래 표와 같다.

표 2 PCU 사양

	구 분	내 용
모터 제어장치	모터 구동 Rated Power	3kW
	발전기 Rated Power	3.5kW
전력 변환장치	Rated Power	1.2kW
	출력 전압/전류	14V/85A

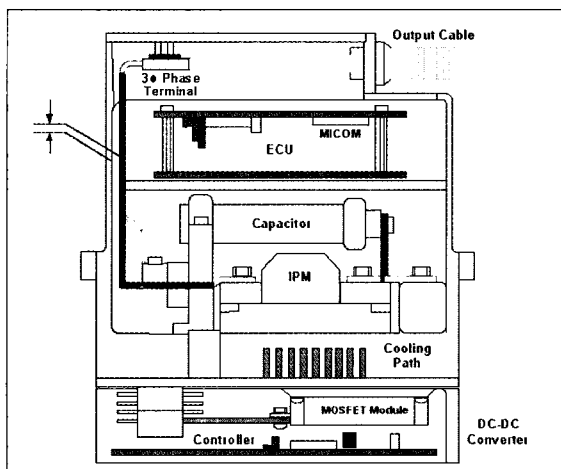
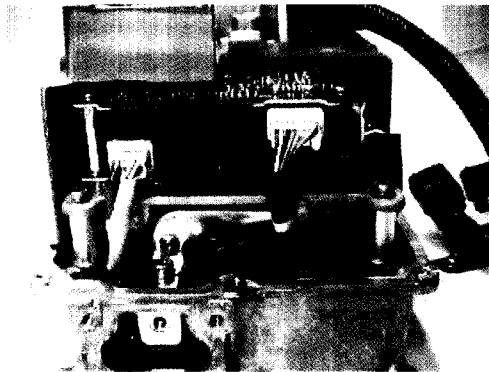


그림 6 PCU 내부 부품 배치

모터 및 전력변환장치는 소형화 및 수냉식 냉각방식의 단순화 등을 위해서 Module 형태로 통합화 되었으며 기 외형은 기존 차량 12V 보조배터리 외형에 맞추어 설계함으로써 장착위치가 기존 12V 보조배터리 위치를 이용하고 있다.

Module내 각 단위부품 장착위치는 최 상단에 차량 제어장치가 위치하며 그 아래에 모터제어 장치 제어 보드가 위치한다.

그 아래에는 모터제어장치용 전력소자가 실장 되고 그 아래에 냉각수가 흐르는 공간을 중심으로 전력변환장치 전력소자가 위치하여 단일 냉각방식이 이루어진다.

또한 전체적인 부품공간 축소를 위해 커패시터는 기존 원형이 아닌 타원형으로 신규 개발하여 적용하였으며 각종 전력 반도체 소자들은 Bare-Chip형태로 적용하여 선간 기생 인덕턴스 성분을 대폭 감소시킬 수 있게 하였다.

전체적인 공간배치는 그림 6과 같다.

차량 보조전원공급을 위한 전력변환장치인 DC-DC Converter는 전력변환 효율을 높이기 위해 Synchronous Rectification 방식을 채택하였으며 Switching 주파수를 높이기 위해 전력반도체 소자는 MOSFET을 적용하였다. 전체적인 회로 구성도는 아래 그림과 같고, 상단 스위칭 소자와 하단 스위칭 소자의 전기적 Short를 방지하기 위하여 양단 게이트 스위칭 신호간 Dead time을 적용하였다.

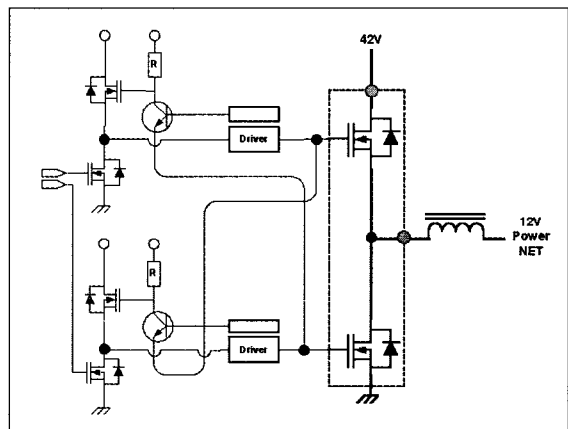
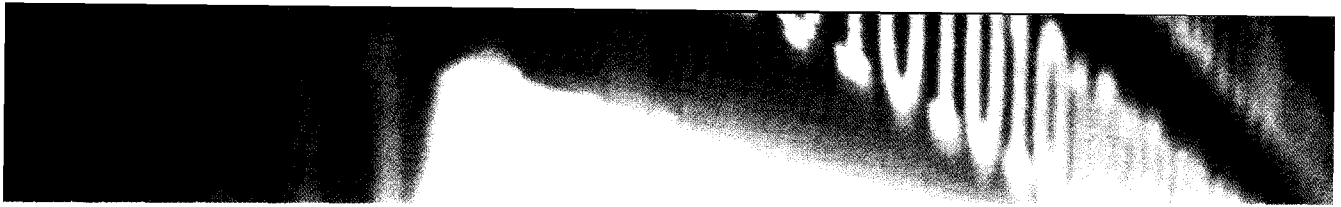


그림 7 전력변환장치(DC-DC Converter) 구성도



전체적인 DC-DC Converter 출력 제어는 아래와 은 차량의 동작환경에 따라 전압을 조정제어 하게 되어 있다.

- 엔진 정지 모드
- 엔진정지 완료 및 재시동간 구역
- 엔진 재시동 후

(3) 모터 및 발전기

모터 및 발전기는 Denso에서 개발되었으며 사양, 구조 등은 아래와 같다.

표 3 ISG 사양

	구 분	내 용
모터	Rated Power	3kW
	최대 토크	56Nm@300rpm
발전기	Rated Power	3.5kW
	발전 효율	80%

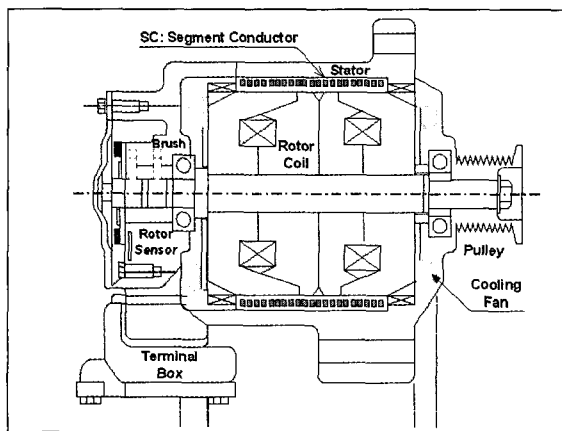
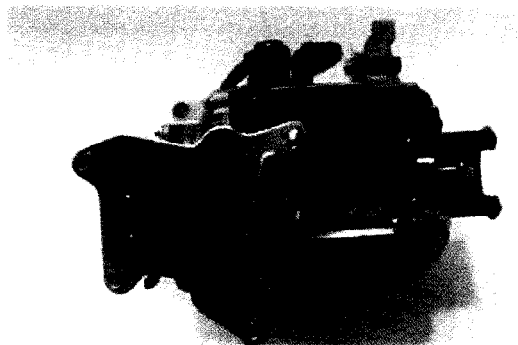


그림 8 ISG 구성

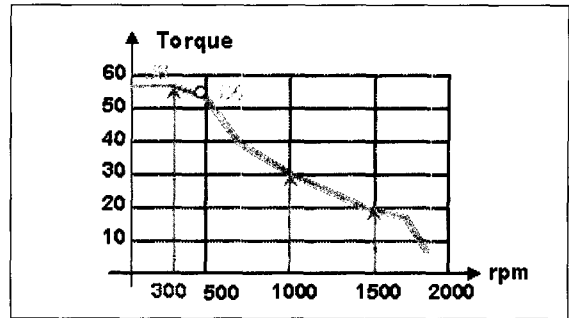


그림 9 ISG 특성

모터 및 발전기는 차량에서 기존 발전기 장착위치에 장착이 되며 10개의 Rib로 구성된 벨트를 통해 워터펌프, 에어컨 Compressor, 파워 스티어링 펌프, 그리고 연결 및 해제가 제어 가능한 Solenoid Clutch를 통해 엔진 Crankshaft에 연결된다. 이때 모터 및 발전기 Pulley와 엔진 Crankshaft Pulley 비율은 1:2.5로 설계 되었다.

모터 및 발전기의 주요 기술로는 모터의 권선을 Segment Conductor사용과 Dual Stator Winding 기술을 적용하여 Winding 밀도 75% 확보, 중량감소 20%, 출력성능 50%, 효율 20% 상승효과를 달성하였다.

이와 같은 전체적인 연결 구조는 아래 그림과 같다.

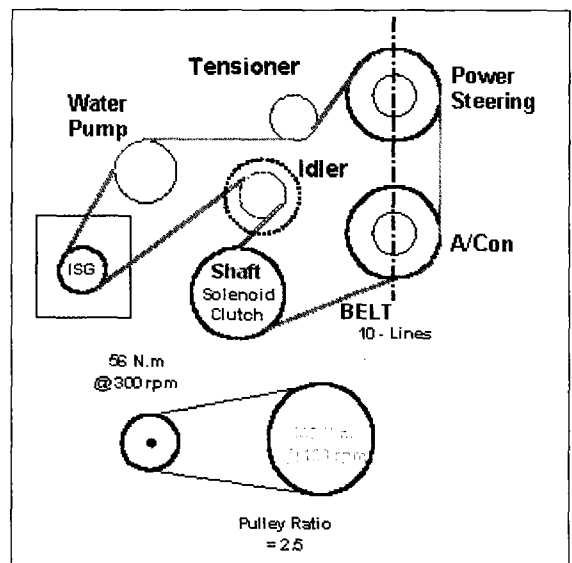


그림 10 벨트 연결 구조



결 론

도요타는 신규 42V 차량개발에서 초기 시장규모 불확실성을 고려하여 개발비용을 절감하고자 42V 시스템관련 부품의 장착 용이성을 고려하여 그 대상 차량 모델을 선정한 것으로 판단이 된다.

또한 차량의 전장부하 증가에 따른 전압체계 변경 못지않게 전압체계에 따라 불가피하게 발생하게 되는 가격상승 부분을 차량의 연료절감 측면에서 상쇄하고자 정차 시 엔진정지, EV Mode, 회생제동을 이용한 에너지회수 등과 같은 제어기

능을 포함시켰다고 판단할 수 있으며 그 연비상승은 약 15% 정도로 나타나고 있다.

또한 전력제어장치(PCU: Power Control Unit) 모듈은 기존 차량 12V 보조배터리 외형 치수에 기초하여 개발함으로써 신규 타 차종에 비교적 용이하게 적용할 수 있도록 하였다.

[Reference]

- 1) Kousuke Suzui, Shuuichi Nagata and Takes-hi Tachibana, "A Battery System for the Crown Mild Hybrid", EVS-19 Technical paper, 2002
- 2) Hidetoshi Kusumi 외 6인, "42V Power Co-ntrol System for Mild Hybrid Vehicle", SAE Technical Paper No 2002-01-0519
- 3) Tatsuo Teratani 외 3인, "Development of Mild-Hybrid System", JASE Technical Paper No 20025042
- 4) Tomohiro Ezoe 외3인, "Engine Starting System Development by Belt Drive Mecha-nism", JASE Technical Paper No 20025152
- 5) Atsushi Tabata, "Control Device for Restar-ting Engine of Vehicle", US Patent No 6,093,974.