

42V HEV 시스템의 기술 동향

조 보 형*, 이 재 호**

(*서울대 전력전자시스템연구실 교수, **박사과정)

1. 서론

최근, 환경보존 및 에너지 자원 절약에 대한 요구에 의해서 고연비 자동차에 대한 요구가 증대했을 뿐 아니라, 탑승자의 편의성과 안전성을 제고하기 위해 컴퓨터 및 통신 장비, 전자 제어가 가능한 각종 기계장치와 같은 고전력을 요구하는 새로운 전기, 전자 기기들이 자동차에 탑재되고 있어 차량의 전력에 대한 요구량이 증가하고 있는 상황이다. 현재, 고급 승용차의 경우 800~1500W의 전력을 요구하고 있지만, 향후 3~7kW의 전력을 요구할 것으로 예상되어, 현재 승용차에 사용되고 있는 14V 전력 시스템에서는 과다한 전류 용량이 예상된다. 따라서, 자동차 기준 전압을 증가할 필요성이 대두되었다.

이러한 이유로 인해 전 세계의 자동차 회사는 기존의 14V 전력시스템에서 42V 전력시스템으로의 전환을 준비 중에 있다. 이와 같이 42V로의 승압은 같은 배선으로 더 많은 전력을 공급할 수 있고, 늘어난 전력과 ISG (Integrated Starter/Generator)를 통한 Start/Stop, Regeneration Braking 등과 같은 Mild Hybrid 개념을 도입함으로써 시스템의 전체적인 연비 향상을 꾀할 수 있다.

그러나, 42V 시스템으로의 이전은 기존의 14V 전기 부하의 42V로의 이전이라는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 현재는 42V와 14V를 병행하고 그 사이에 DC/DC Converter를 채용하는 Dual Voltage System을 사용하고 있다.

현재 일본의 Toyota에서는 2001년 가을부터 Dual voltage 42V 시스템을 적용한 Crown을 시판하고 있으며, MIT Working group에서 발전한 MIT Consortium을 비롯

해, GM, Volvo, Delphi 등과 같은 유수의 자동차 업체가 42V 시스템을 개발하고 있다. 국내에서는 현대 자동차, 현대 모비스를 추축으로 산학연 협동을 통해 14V/42V Dual Voltage 시스템을 양산차에 적용한다는 목표로 개발에 적극 나서고 있다.

따라서, 본고에서는 42V 시스템에 대한 기술 동향 및 특징에 대해 간략하게 소개하고자 한다.

2. 42V 시스템 구조

그림 1은 벨트 구동형 42V 시스템의 형상을 간략하게 나타낸 것이다. Starter와 Generator의 통합형 시스템인

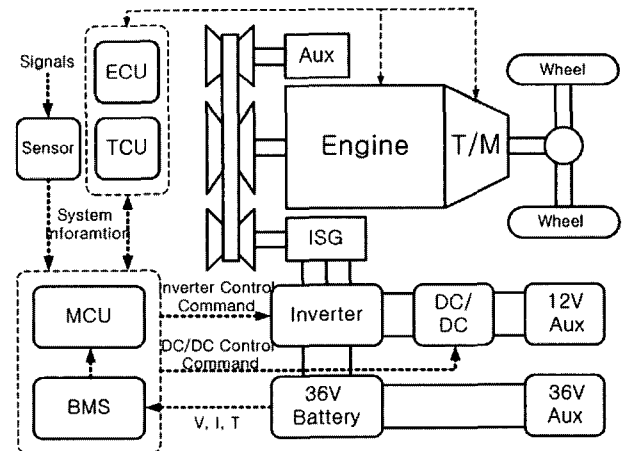


그림 1 42V System Configuration

ISG(Integrated Starter/Generator)가 벨트를 통해 엔진에 연결되어 있으며, 이러한 구조는 Toyota에서 개발한 Crown에도 채용된 구조이다. Inverter를 사용하여 ISG를 제어하며, DC/DC Converter를 이용하여 14V와 42V 단의 전력을 제어한다. 전체 시스템은 CAN(Control Area Network)을 통해 연결되어 있다.

이러한 42V 시스템의 채용은 다음과 같은 이점이 있다. 첫째, 전압의 상승으로 인해 같은 전력을 공급하는데 필요한 전류의 감소로 사용될 반도체 소자의 단면적이 감소한다. 그림 2는 시스템 전압에 대한 전력용 MOSFET의 silicon chip 면적을 나타낸 것으로 시스템 전압이 상승하면 그 크기가 줄어들음을 알 수 있다. 반도체 소자의 가격은 chip 면적과 밀접한 관계가 있으므로 42V 채용을 통해서 사용될 반도체 소자의 가격을 낮출 수 있다.

둘째, ISG의 채용을 통해 발전 전력을 높임으로써 steer-by-wire, Electromechanical Valve, Electric Active Suspension, Electric Aircondition compressor 등과 같이 기존에 기계적 시스템을 전기적 시스템으로 구현할 수 있다. 이와 같이 기계적 시스템을 전기적 시스템으로 구현함으로써 시스템을 효율적으로 운행할 수 있게 되어 전체적인 시스템의 효율 향상과 안전성을 얻을 수 있다.

셋째, ISG의 채용을 통해 Start/Stop, Launch Assist, Regeneration Braking 등과 같은 Mild Hybrid 전략을 채용할 수 있으며, 이를 통해 차량의 연비를 향상시키고 오염물질 배출을 줄일 수 있게 된다. Toyota Crown의 경우 3kW급의 M/G를 사용하여 Idle stop/go와 Regeneration Braking을 통해 Japan1015 Driving cycle에서 15%의 연비향상을 보이고 있다고 보고되고 있다.

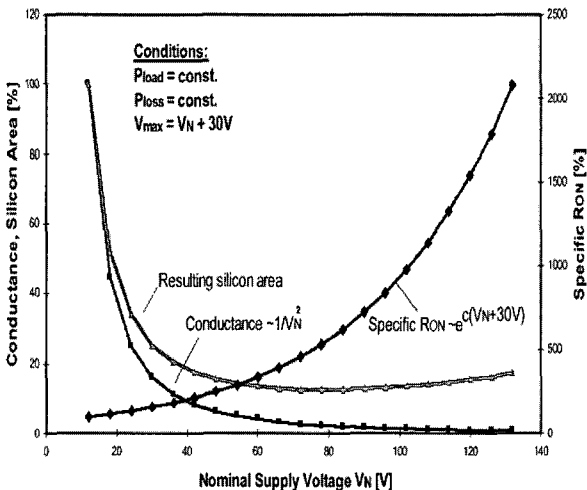


그림 2 Supply 전압에 별 Silicon Chip 면적

넷째, 42V ISG를 채용할 경우 발전 효율이 증가한다. 현재 사용되고 있는 발전기의 경우 효율이 50%대로 매우 낮은 상태이나, ISG의 경우 발전 효율이 80%대로 증가될 것으로 예상된다. 자동차에서 100W의 손실 감소는 50kg의 차량 중량 감소 효과를 가지고 있으므로, 발전 효율의 증가가 시스템 효율에 미치는 영향이 매우 크다.

또한, 전압 상승에 따른 전류 감소로 자동차 시스템의 전장품의 배선이 간단하고 얇아지는 장점을 가지고 있다.

그러나, 42V system은 높아진 전압에 맞는 전장품 개발 및 접점에서 발생하는 Arc 문제, 기존의 14V 전력계 시스템과 호환되는 jumper starting 문제를 가지고 있다. 특히, Arc는 진동이 심한 조건에서 주행해야 하는 차량에서 내구성 및 화재의 문제를 유발할 가능성이 크며, 일본 등지에서는 발생 아크를 소멸시키기 위하여 전선 접속부에 영구자석을 설치하는 방안을 제안하기도 하였으나 아직 완전히 해결하는 못한 문제로 남아있다.

3. 42V 전력계 시스템의 구조

그림 3은 현재 42V 전력계 시스템에 사용되는 Dual voltage system이다. 이러한 dual voltage system은 기존의 14V 전기부하의 급격한 42V 이전으로 발생할 수 있는 비용상의 문제점을 해결할 수 있다. 또한, 14V와 42V 사이에 양방향 DC/DC Converter를 채용함으로써 36V 배터리가 방전되었을 때 기존의 14V 배터리를 가지고 Jumper Start를 수행할 수 있다. 그러나, dual voltage system은 기존의 14V 전력계 시스템을 가지고 있기 때문에 14V와 42V 두 개의 wire harness를 가지며 DC/DC Converter와 같은 전장품의 추가와 12V/36V 두 개의 배터리로 인한 비용의 증가 문제를 가지고 있다.

이와는 별도로 차량의 성능과 연비 향상을 위하여 가속시 엔진에 ISG torque를 더해주는 torque boost와 감속시 에너지를 회수하는 Regeneration Braking 기능을 확대하기 위한 노력이 이루어져 왔다. 이러한 경우, 에너지 저장 장치에 매

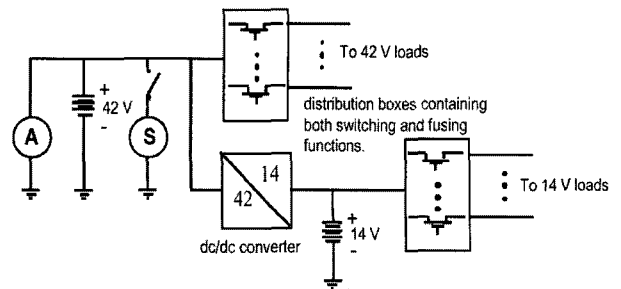
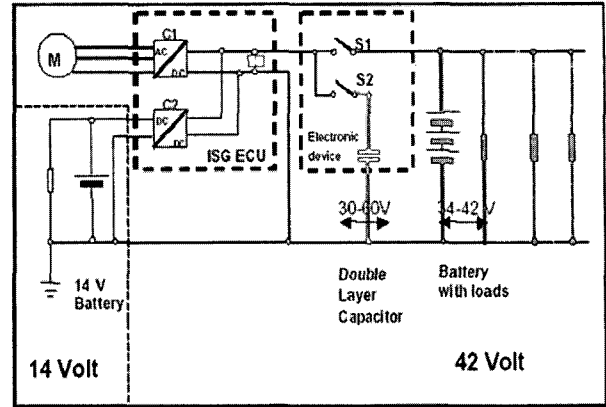


그림 3 Dual voltage system

표 1 Comparison of storage systems

	Lead Acid	Super Cap	Ni-MH
Nominal Voltage[V]	2.0		1.3
최대 충전 전압[V]	2.7	3.0	1.7
최소 방전 전압[V]	1.5	0	0.8
Specific energy[wh/kg]	30	4	70
Specific Power[W/kg]	400	9000	900
Expected Cycle	~300	~500,000	~1,500
Temperature [°C]	-30~60	-30~80	-25~55



(a) Dual energy supply system using switch

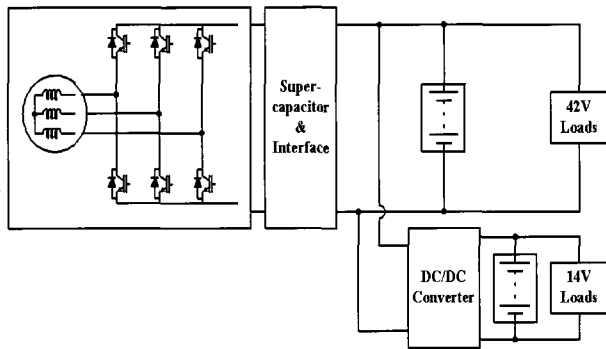
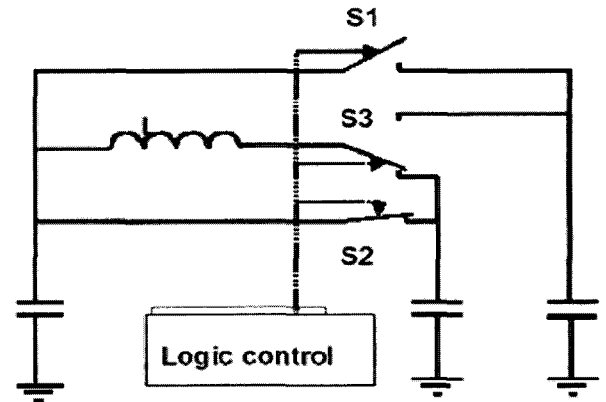


그림 4 Super Capacitor를 채용한 42V system



(b) the schematic of the switch network

우 큰 펄스 형태의 충방전이 이룬다. 배터리의 경우 이러한 상태에서 매우 빠른 노화현상이 발생하므로 Super-Capacitor가 하나의 대안으로 부각되었다. 그러나, 표 1에서 보듯이 Super-Capacitor는 에너지 밀도가 낮기 때문에 전력 밀도와 에너지 밀도를 동시에 요구하는 자동차 시스템에서는 단독으로 사용될 수 없다. 따라서, 배터리와 동시에 사용하면 서로의 단점을 보완할 수 있다.

그림 4는 Super Capacitor를 채용한 42V system의 일반적인 형태이다. 일반적으로 Super Capacitor는 배터리와 전압이 다르고, 충방전 전류에 대한 전압의 변동폭이 다르기 때문에 Super Capacitor와 배터리 사이에 DC/DC Converter를 사용하여 시스템을 구축한다.

그러나, 이러한 구조에서 Super Capacitor의 전압의 최대치를 60V로 제한할 경우 사용되는 DC/DC Converter는 전압 Up/Down을 동시에 수행해야 하기 때문에 가격이 비싸지는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 Simens VOD에서는 그림 5(b)와 같이 간단한 Switch Network를 이용한 전력계 시스템을 제안하였다. 이 시스템에서는 차량 기

그림 5 Simens VOD System Architecture

동, 재기동, Boost, Regeneration Braking을 수행할 때 S2를 닫아서, 인버터 DC link Capacitor와 Super Capacitor를 연결하고, 발전 시에는 S1을 닫아서 배터리와 DC link Capacitor를 연결하는 구조이다. S3는 S1과 S2의 전환시 DC link Capacitor와 Energy Storage간 전압 불균형을 해소하기 위한 스위치 이다. 이 S3와 인덕턴스의 사용에 의해 S1과 S2는 영전압/영전류 스위칭이 가능하고 Simens의 자료에 의하면 이러한 전환에 걸리는 시간은 100msec이내에 가능한 것으로 알려져 있다. 이와 같은 전력계 구조와 엔진 크랭크 축에 ISG를 장착하는 Direct 형태의 powertrain 구조를 이용해 20kW 급의 동력 성능을 얻었다. 또한, 이러한 과정을 통해 NEDC와 Japan1015 모드에서 각각 15%와 18.2%의 연비 향상 효과를 보였다.

현대 자동차와 공동으로 추진했던 42V system은 그림 1, 3과 같은 벨트 구동형 dual voltage system이다. 이 시스템

표 2 The Improvement of fuel economy at proposed logic

	Conventional	42V	Idle(Regen) System	Improvement Time(sec)
FTP75	8.59 km/l	9.18 km/l	301(111)	6.73%
Japan1015	7.44 km/l	8.39 km/l	149(46)	12.8%
NYCC	4.4 km/l	4.86 km/l	77.5(4)	10.37%
NEDC	8.78 km/l	9.59 km/l	241.5(57)	9.2%

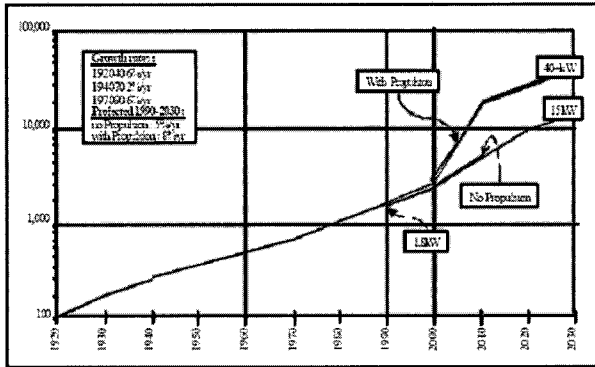


그림 6 The generator peak power of average passenger car

은 4kW급의 매입형 영구자석 전동기(IPM)과 20Ah VRLA를 사용하고 있으며, 표 2와 같은 연비 향상 효과를 시뮬레이션을 통해 예측 결과를 얻었으며, 현재 연비 테스트가 진행 중이다.

4. 현황

42V 시스템은 현재 국내외에서 연구가 활발하게 진행중이다. 국내에서는 서론에서 언급했듯이 현대자동차와 현대모비스를 중심으로 14V/42V dual voltage system 개발을 수행 중에 있다.

국외에서는 MIT Consortium, Forum Bordnetz 등과 같은 기관과 Toyota, BMW, Benz, Ford, GM 등의 완성차 업체와 Bosch, Simens, Valeo 등의 전장품 업체가 42V 개발에 참여해 왔다.

현재 42V 시스템 투입을 계획했던 자동차 메이커가 계획의 중단이나 보류를 표명하고 있다. Ford는 2003년 투입할 예정이었던 42V 전원을 도입한 SUV 'Explorer'의 개발을 중단했고, BMW도 고급차 '7시리즈'의 초기 투입 계획을 연기했다. 이렇게 정체되고 있는 원인은 14V 전장부하를 42V 전장부하로 바꾸기 위해 많은 비용이 들어가고, 부품비용도 증가하기 때문이다. 대안으로 받아들였던 14V/42V dual voltage

system도 14V 전력계와 42V 전력계를 연결하는 DC/DC Converter의 추가와 큰 전력에 충방전에도 필요한 수명을 확보할 수 있는 36V 배터리를 개발에 들어가는 비용을 생각하면 비용 감소 효과가 적다고 판단 도입을 늦추고 있다. 또한, 수냉방식을 도입한 14V 발전기의 출력이 5kW로 향상되고 있는 상황에서 14V 발전기를 이용한 Idle Stop/Go 기능도 타진하고 있다.

그러나, 앞에서 언급한 것과 같이 14V 발전 출력의 증대만으로 전기부하를 늘릴 수는 없다. Wire Harness와 같은 문제점이 존재하며, 또한 각국의 환경규제의 강화는 42V 시스템으로의 전환을 강요하고 있다. 또한, 그림 6과 같이 향후 급격히 증가할 전력 수요에 부합하려면 42V로의 이행이 필수적이다. 현재 기술수준으로도 8~10kW의 출력을 가지는 발전기를 확보할 수 있을 것으로 예상된다. 따라서, 많은 자동차 및 부품업체 들은 14V 시스템이 42V 시스템으로의 전환은 시기만 늦춰진 것인지 반듯이 이행된다고 판단하고 있다. 현재 대부분의 자동차 및 부품업체는 42V 시스템의 본격적인 보급시기를 2010년으로 내다보고 있다.

5. 맺음말

42V 시스템은 각국의 환경 규제 강화로 저공해 자동차에 대한 요구사항 강화 및 자동차의 전장화로 인한 전력 요구량의 증대로 가까운 미래에 국내 자동차 산업의 생존을 위한 필수적인 기술이다. 42V로의 전환은 매우 다양한 분야의 부품 및 차량 기술을 필요로 하고 있으며, 전체 산업에 미치는 효과가 클 것으로 판단된다. 또한, 42V로의 전환은 차량의 전력계 시스템의 표준을 바꾸는 것으로 자동차 및 부품산업에 대한 혁신을 초래할 것이다.

현재 국내의 42V 시스템 기술은 선진국에 비해 개발시기가 늦고 개발 자원이 적은 것이 사실이다. 따라서, 선진 기술에 의존에서 탈피하여 독자적인 기술확보가 필요하며, 자동차 및 부품업체 뿐만 아니라 연구기관, 대학 등의 공동 연구를 통한 공동 대처 노력이 필요할 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] 김병우, "자동차 전장 부품의 고전압(42V) 체계 대응 방안", 한국정밀공학회지, 1999.
- [2] Miller, J.M., et al., "Making the Case for a Next Generation Automotive Electrical System", IEEE- SAE International Congress on Transportation Electronics, Dearborn, MI, Oct, 1998.
- [3] Kassakian, J.G., H.C. Wolf, J.M. Miller and C.J. Hurton, "Automotive Electrical Systems circa

2005.” IEEE Spectrum, Aug. 1996.

- (4) John G. Kassakian, “Automotive Electrical Systems - The Power Electronics Market of the Future”, Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2000. APEC 2000. Fifteenth Annual IEEE Volume 1, 6-10 Feb. 2000 Page(s):3 - 9 vol.1.

《저 자 소개》



조보형(趙普衡)

1952년 2월 11일생. Cal Tech(석사). Virginia Tech(공학박). 1980년~1982년 TRW 항공우주 연구소 근무. 1985년~1989년 Virginia Tech 조교수. 1989년~1995년 Virginia Tech 부교수. 1995년~현재 서울대 전기·컴퓨터공학부

교수, 당 학회 회장.



이재호(李載昊)

1973년생. 1997년 서울대 전기공학부 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학부 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정.