

차세대 자동차용 42V 시스템 개발 동향

■ 김종대, 김의봉 / 현대자동차(주) 현대기아 연구개발본부 자동차전자개발센터

42V 전원시스템 도입 배경

오늘날 자동차 산업은 여러 가지의 이슈에 직면하고 있다. 디지털 시대의 도래로 자동차의 고객들은 차안에서 인터넷, 지리정보 서비스 등의 사용을 포함한 여러 가지 편의 장치를 사용하길 바라고 있다. 안전성에 대해 보다 확실한 보장을 받으며 편리하고 안락한 자동차에 대한 기대는 점점 커지고 있는 실정이다. 이를 위해 자동차 메이커와 부품업체들은 꾸준히 신기술 개발을 추진하고 있다. 이러한 신기술 부품의 실차 적용에 있어 가장 큰 문제 중의 하나는 현재의 14V 차량 전원으로는 급증하는 전력 수요의 요구를 대응하기 어렵다는 점이다. 그림 1은 현재 자동차 메이커에서 개발 진행 중인 신기술 제품을 소개하고 있다.

그림 2는 14V 전원을 적용한 경우, 신기술 적용 제품별 예상되는 전류 용량을 나타내고 있다.

일반적으로 현재 승용차의 정상상태 발전 용량은

1.2kW에서 1.5kW 정도이다. 하지만 그림 2에서와 같이 차량에서 컴퓨터나 통신 장비의 장착, 전자식 엔진 벨브 제어장치 (Electro Mechanical engine Valve system), 능동형 서스펜션 및 x-by-wire 등의 적용 확대로 인해 2005년경의 발전 요구 용량은 약 3.0kW에서 7kW정도로 예측되고 있다.^[1]

또한 국제적으로 특히 북미 및 유럽 등에서 환경보호를 위해 배기 규제가 강화되고 있는데, 이러한 규제에 대응하기 위해 자동차 메이커들은 Zero Emission 차량 개발을 적극적으로 추진하고 있다. 여기에 고갈되어 가는 화석 에너지의 절약을 위해 미국의 PNGV에서는 80mile/gal (34km/l) 컨셉 차량을 개발하고 있으며 유럽에서는 3리터 자동차의 (100km/3l) 연구가 활발히 진행되고 있다.

이와 같은 전력 증대 및 연비/배기 개선 요구의 분위기 가운데 42V 시스템이 등장하였다.

42V 시스템은 차량의 전압을 현재의 3배로 올려 큰

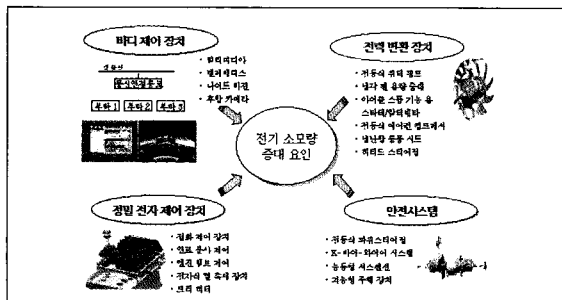
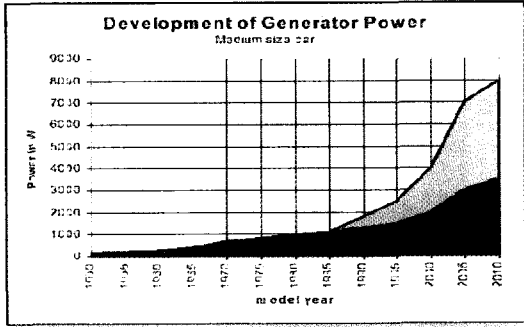
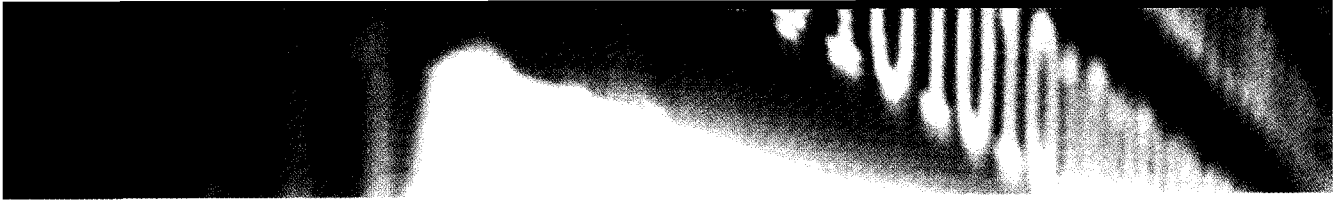


그림 1 차량의 전기 소모량 증대 요인

Future Vehicle Loads	Estimated current(A)
Electrically heated catalyst	240
Electric fan (extended)	100
Electric power steering	100
Electromechanical brake	320
Electrohydraulic brake	145
Additional electric drive	380
Active suspension	380
Electromagnetic valves	200
Electrical air conditioner	200
Surface heating	150
Supplementary heating	100
...	...

그림 2 신제품별 예상 소비 전류 (14V 기준)



Source: Daimler Chrysler

그림 3 예상 발전 용량

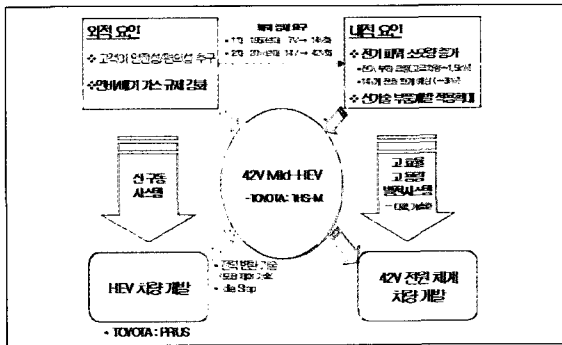


그림 4 42V 시스템의 도입 배경

전력을 요구하는 신기술 부품의 차량 적용이 가능하게 한다. 또한 IGS의 도입으로 연비 향상 및 배기가스 저감의 요구에도 대응이 가능한 시스템이다. 그림 4는 42V 시스템의 도입 배경과 고효율, 고용량 발전 시스템의 필요성을 보여주고 있다.

전원 표준화 현황

신기술 부품 개발 적용 확대, 연비향상 및 배기가스 저감의 요구로 인해 차량 전원 체계의 고전압화 연구가 진행되었다. 1980년 후반 SAE에서 최대 안전 전압으로서 60Vdc와 순시 과전압을 65Vdc로 규제치를 제안하였다. 이러한 전압 제한치를 토대로 차량에서의 새로운 전원시스템이 50Vdc 이하인 42V 전압으로 연구되었다. 1994년 Mercedes Benz의 요청에 의

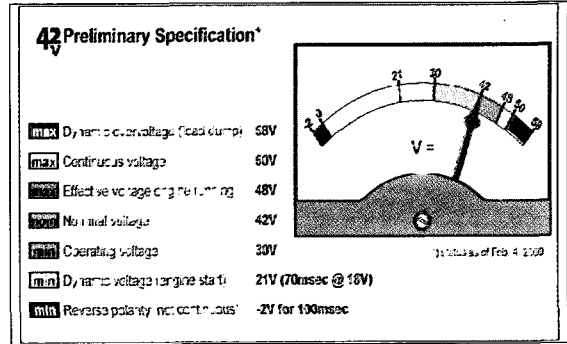


그림 5 42V 전원시스템의 제안 사양^{[1][2]}

해 MIT 공대를 주축으로 자동차 관련 7개 회사로 구성된 working group이 구성되어 42V 전원(36V 배터리) 시스템을 제안하게 되고 1995년 Mercedes Benz 및 독일 OEM회사들이 working group의 제안을 받아들여 자동차의 새로운 전원시스템의 표준화가 추진되게 되었다.

42V 시스템의 국제 표준화는 미국의 MIT 주관의 컨소시엄과 유럽의 SICAN Bordnetz을 중심으로 활발히 진행되고 있다. 그러나 아직까지는 42V 전원 사양의 세계 표준화에 이르지 못하고 있다.

그림 5는 MIT 컨소시엄에서 제안한 사양이다. 펄스 최대 전압(400ms)을 58Vdc로 제안하였으며 리플 성분을 포함한 발전기 최대 전압은 50Vdc, 엔진 구동을 위한 유효 전압은 48Vdc, 엔진 구동을 위한 정격 전압은 42Vdc, 최저 전압은 30Vdc, 스타터 기동 시 펄스 최저 전압(20sec)은 21Vdc, 스타터 기동 시 펄스 최저 전압(70msec)은 18Vdc로 규정하여 제안하고 있다.

42V 시스템의 구조

42V 시스템의 실차 적용을 위해 추가로 고려해야 할 사항은 차량의 모든 전기 장치들을 42V로 개발되는데는 많은 투자와 기간이 요구된다는 점이다. 현재 많은 부품업체들이 42V 시스템에 적용 가능한 부품들을 개발하고 있지만 양산품으로 출시된 것은 드물다. 그만큼 기능, 성능은 물론 차량에서 가장 중요한

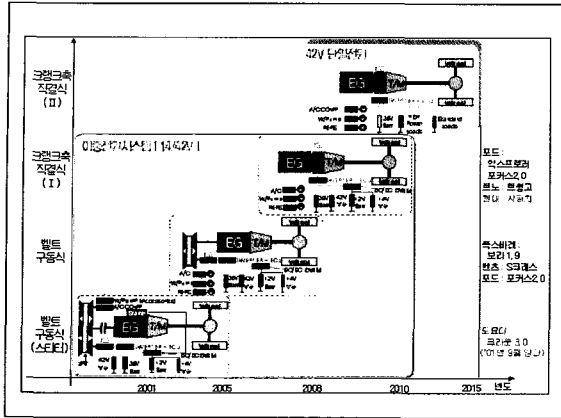


그림 6 42V 시스템의 예상 Road-Map

신뢰성을 확보하는데 많은 노력이 필요하다는 것이다. 부품들이 완전히 42V로 대체 되기전까지는 42V 전원과 14V 전원시스템이 공존하는 이중 전원 시스템의 적용이 타당하다. 이런 이중 전원 시스템은 42V 시스템을 연구하고 있는 모든 연구 조직들이 공감하고 있다. 약 2010년 이후에는 점진적으로 완전한 단일 전원의 시스템 차량이 출시될 것으로 예상된다.

42V 시스템 차량의 개발 예상 Road-Map은 상기 그림 6과 같다. 42V 시스템의 완전한 검증을 위해 현 차량을 최소로 변경하여 개발 할 수 있는 방안이 우선적으로 연구되고 있다. 실제 2001년 9월 도요타에서 세계 최초로 42V 벨트형 양산차를 생산하여 판매하고 있다. 이 시스템은 냉시동 특성을 만족시키기 위해 기존 스타터를 사용하고 있는데, 36V 배터리와 IGS의 냉시동 특성이 확보될 경우 2차적으로 스타터가 없는 벨트형 차량의 개발이 예상된다. 42V 시스템의 신뢰성이 검증되는 시점에 효율이 우수하고 발전 용량을 증대할 수 있는 직결형 IGS 시스템 차량이 출시될 것으로 보인다.

42V 시스템에 적용 가능한 부하로는 소비 전력이 많은 소형 모터 및 액츄에이터류가 우선적으로 적용될 것으로 예상된다. 소형 DC 모터의 42V 적용의 경우, 브러쉬에서 발생하는 아킹 등의 문제가 있음에도 불구하고 가격적인 잇점때문에 기존의 직류모터의 적용이 주요 부품 업체들을 주축으로 적극적으로 제

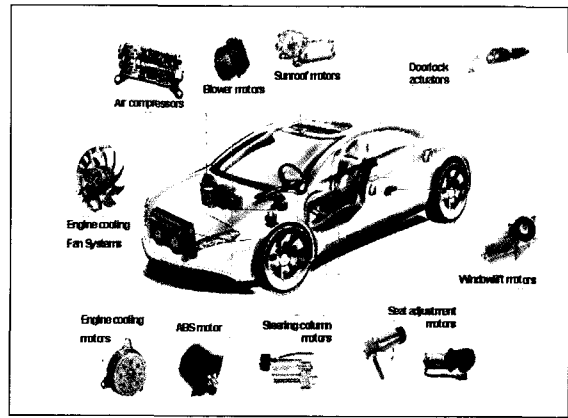


그림 7 42V 적용 예상 모터 류

시되고 있다. 브러쉬 아킹의 문제를 극복하기 위해서는 브러쉬 재질 개선을 위한 연구가 진행되고 있는 실정이다.

42V 시스템 효과

연비 향상 및 배기 가스 규제에 대응 가능한 다양한 구조의 차량들이 연구 개발되고 있다. 특히 하이브리드 차량은 도요타 및 혼다 등에 의해 괄목할 만한 연구가 이루어지고 있다. 그러나 하이브리드 차량은 연비 및 배기의 개선에도 불구하고 아직까지 차량 가격 및 개발 비용이 비싸다는 단점이 있다. 따라서 여러 자동차 업체는 보다 현실적인 해법을 모색하고 있는데 이러한 대안 중의 하나가 42V 시스템 차량이다. 차량의 가격을 낮추고 하이브리드 시스템에서 이미 개발된 여러 기능들을 도입하여 연비를 향상(약 5~15%)시키는 방안이 적극적으로 연구되고 있다.

현재 14V 차량의 와이어링 하니스는 고급 승용차 기준으로 그 전체 길이가 약 2.5km 이상이며 약 350개의 커넥터 및 약 1,500개의 단선을 가지고 있다. 이 점은 차량 개발시 많은 어려움을 야기시키고 있다. 특히 소비 전력이 큰 부하일 수록 와이어의 두께가 커지므로 중량 증가 문제 및 와이어링의 경로 설계에 어려움이 가중된다.

42V 시스템은 동일 소비 전력을 갖는 부하에 대해

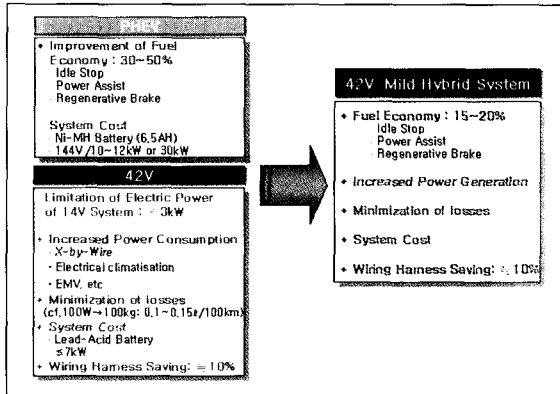
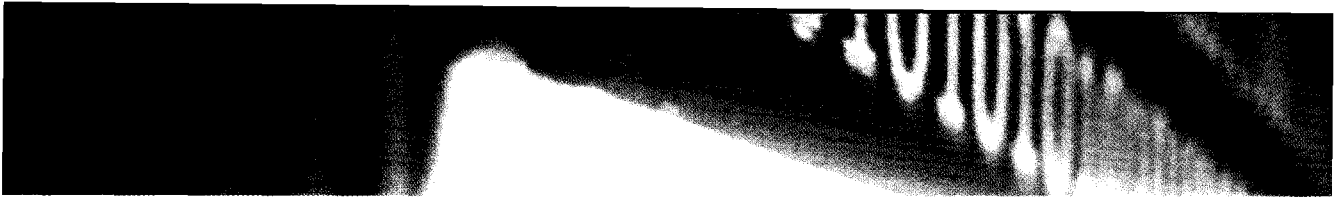


그림 8 42V 시스템의 주요 효과⁴⁾

14V 시스템 보다 전류가 1/3로 감소한다. 따라서 와이어의 두께가 줄어들어 경로 설계가 용이할 뿐 아니라 와이어링 경량화(현재 전기 부하 기준 약 10%)로 인해 추가적인 연비향상도 기대할 수 있다.

발전기의 정류장치는 기존 다이오드 정류기의 단방향 구조에서 양방향 제어가 가능한 MOSFET 인버터 구조를 채용함으로써 정류 효율의 향상과 함께 전기 에너지를 관리할 수 있는 잇점이 있다.

42V 시스템 주요 요소 기술

발전 및 기동기

현 차량에 적용되고 있는 권선계자형 알터네이터의 일반적인 효율은 약 50% 수준인데 여기에는 대부

Classification	Machine	Topology	Features
Belt-Driven	14V Alt. Pole CL, 14V, 1000W		- 14V vehicle - Efficiency ~67% - Low Power Excitation
	42V Alt. Dual 12V for 14V, 1000W		- Dual Motor for 14V/2V - Additional full-bridge rectifier - Phase single control for 14V regulation - Efficiency ~70%
In-Shaft Mounted	42V IGS 12V, 1000W		- Maximum modulation of engine room layout - Efficiency 70%over
	42V IGS 12V, 1000W		- Efficiency 85% - 0.7kW / kg - 8PM3M / 8PM3M - Efficiency 80%over - 1.0kW / kg

그림 9 42V IGS 기술의 개발 동향⁴⁾

분 다이오드 정류기가 사용되고 있다.

42V 시스템에서는 기존 알터네이터보다 발전 효율을 향상시킬 수 있는 다양한 구조의 발전시스템이 연구되고 있다. 42V 시스템 차량을 크게 나누면발전부 모터를 벨트에 의해 엔진에 연결하는 벨트형 차량과 엔진 크랭크축에 직결하여 사용하는 직결형 차량으로 분류할 수 있다. 벨트형 차량은 벨트 및 폴리의 장력을 고려하여 약 4-6kW 수준의 발전이 가능하며 6kW 이상에는 직결형 시스템의 적용이 바람직하다고 알려져 있다. 그림 9는 42V용 모터 및 정류(구동)부의 Road-Map을 나타내고 있다. Machine 측면에서는 효율이 우수하고 컴팩트한 설계가 가능한 매입형 영구 자석형 동기기의 연구가 활발히 이루어지고 있다. 42V 시스템의 적용으로 모터의 발전 파워 및 출력 토크가 증가하게 되었다. 이점은 Machine 측면에서 볼 때 현재 14V 알터네이터로 엔진을 기동하는데 사용할 경우 기동에 필요한 엔진 요구 토크의 1/4 정도만 출력 가능하데 비해 42V 모터 사용시는 1/2 수준으로 크게 증가함을 알려 준다. 이런 특징에 의해 알터네이터로 개발한 42V 모터 시스템이 엔진의 기동 기로도 사용될 수 있는 가능성이 확보 되는데, 모터의 설계 측면에 대한 보완을 통해 현재는 하나의 모터 시스템으로 발전 및 엔진 기동이 가능한 IGS (Integrated Generator Starter)가 등장하여 42V 시스템의 핵심 기술의 하나로 자리잡고 있다. 일반적으로, 엔진을 기동하는 스타터의 토크는 중형차 엔진 기준으로 냉시동시 약 150Nm 정도이므로 벨트형의 경우 폴리비를 3:1로 가정할 때, IGS의 토크는 50Nm 정도로 설계가 되어야 한다.

IGS 제어기

IGS의 제어기는 마이크로 프로세서를 포함한 제어부와 전력을 변환(AC-DC 또는 DC-AC)하는 파워부로 구성되어 있다. 최근 전력전자의 기술 수준이 크게 높아져 있어 42V 시스템의 적용이 매우 용이하다.

차량용으로 적용 및 연구되고 있는 프로세서는 그림 10과 같은데 보다 많은 보상 로직 및 보호 기능을

Type	Infineon			Motorola			
	8bit	16bit	32bit	8bit	16bit	32bit	
	C517	C167	TC1775	68HC11	68HC12	MPC555	MPC555
Speed (MPS)	-	16.5	40	-	-	62	62, 88.9
Clock (MHz)	2	33	40	2-6	16	56	40, 56
SRAM (kbyte)	2	12	93	2	2	32	46
FLASH (kbyte)	-	-	768	-	60	448	1000
EPROM (kbyte)	32	32	-	-	-	-	-
EEPROM (kbyte)	-	-	-	0-48	1	-	-
CAN	-	2ch	2ch	-	1ch	2ch	3ch
PWM	8ch	4ch	8ch	4ch	4ch	8ch	12ch
AD	12ch	16ch	32ch/12bit	8ch	16ch	32ch/10bit	40ch/10bit
Serial-Corrm	2ch	2ch	4ch	2ch	3ch	3ch	6ch

그림 10 적용 예상 프로세서 특성 비교^[4]

구현하기 위해 32비트 프로세서가 점진적으로 확대되고 있다.

DC/DC 컨버터

DC/DC 컨버터는 차량의 전원체계가 일시에 42V로 변경이 불가능하므로 42V/14V 이중 전원의 구성을 위해 필요하다. 42V에서 14V로 전압을 낮추는

One-way Direction	Benefits	Disadvantages
	<ul style="list-style-type: none"> - Cost Down - Ease to Control 	<ul style="list-style-type: none"> - Limitations - Jump Start - Electrical Energy Management
	<ul style="list-style-type: none"> - Increase the Redundancy at Start - Jump Start with any Vehicles - Electrical Energy Management 	<ul style="list-style-type: none"> - Cost Rise - Increase Complexity to Control

그림 11 이중전원시스템을 위한 DC/DC 컨버터 비교

Types of battery	Ni-MH	Li-Ion	Li-Polymer	Lead-Acid
Cell Voltage(V)	1.2	3.6	3.6-3.8	2.0
Energy Density(Wh/kg)	60 ~ 70	100 ~ 120	100 ~ 120	30 ~ 40
Power Density(W/kg)	950	1200	1200	300
Safety	◎ Over Char. & Dischar.	X	△ Protection for O.C & D	◎ Over Char. & Dischar.
Nr. Of Cycles @DOD80%	600 ~ 1,000	300 ~ 600	300 ~ 600	300 ~ 500
Char. For Low Temp.	◎	◎	X	○
Self Discharging (%/24hr. @25°C)	?	1%	1%	1%
Efficiency(%)	90	98	98	80
Manufacturing Process	○	△	◎	◎
Price	△	○	○	◎

그림 12 에너지 저장장치 특성 비교

Available Performance	Lead-acid Battery (12V)	Super-capacitor (2.3V)	Conventional Capacitor
Charging Time	1 ~ 5 [hr]	0.3 ~ 30 [sec]	10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁶ [sec]
Discharging Time	0.3 ~ 3 [hr]	0.3 ~ 3 [sec]	10 ⁻⁵ ~10 ⁻⁸ [sec]
Energy Density [Wh/kg]	10 ~ 100	1 ~ 10	< 0.1
Cycle Time	1,000	> 500,000	> 500,000
Specific Power [W/kg]	< 1,000	< 10,000	< 10,000
Charging/Discharging Efficiency [%]	0.7 ~ 0.85	0.85 ~ 0.98	> 0.95

그림 13 Super-Capacitor와 납산 배터리 특성 비교

(Step-down) 역할만 하는 단방향 구조와 42V, 14V 상호간 전력의 이동이 가능한 양방향 구조로 나눌 수 있다. 이 두 구조의 기본 등가회로와 장단점은 그림 11에 잘 나타나 있다.

42V용 Storage System

42V 시스템 차량에서 여러 가지 기능(Idle Stop, 동력보조, 회생제동 등)을 구현하기 위해서는 에너지 저장 장치의 역할이 매우 중요하다. 차량의 안전성 및 신뢰성 확보 측면에서도 역시 에너지 저장 장치의 중요성이 부각되고 있다. 현재 국제 연구 단체에서 42V 시스템 차량용으로 추천하고 있는 에너지 저장 장치는 가격이 저렴하고 신뢰성이 검증된 36V VRLA(Valve Regulated Lead Acid) 배터리이다.

그 외에 회생제동 및 동력보조 기능을 지원하기 위해 추가로 연구되고 있는 것이 Super-Capacitor이다. Super-Capacitor는 가격 및 에너지 밀도 측면에서 아직까지 현실적이지는 않지만 지속적으로 기술 개발이 추진되고 있다.

42V 시스템 차량의 주요 기능

현재 하이브리드 차량에 구현된 다양한 기능 중 일부를 42V 시스템 차량에 적용함으로써 차량의 동력 성능 및 연비 향상이 가능하다. 그 주요 기능은 다음과 같다.

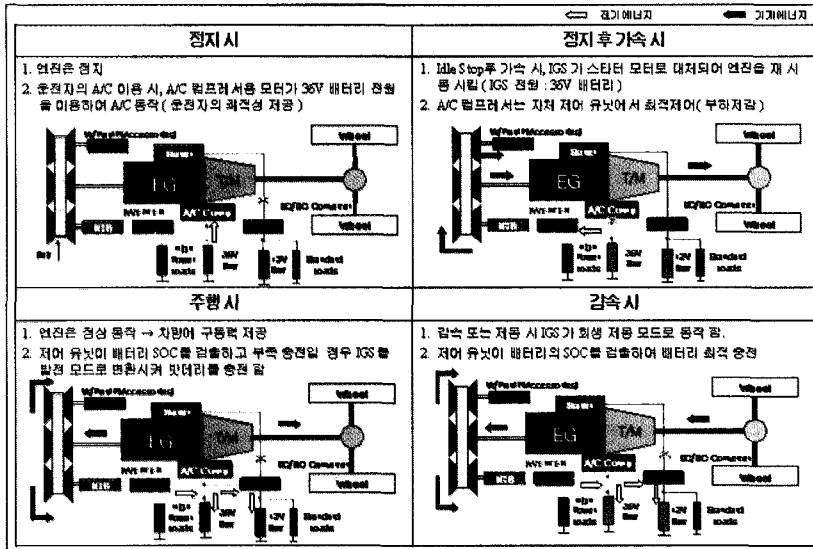
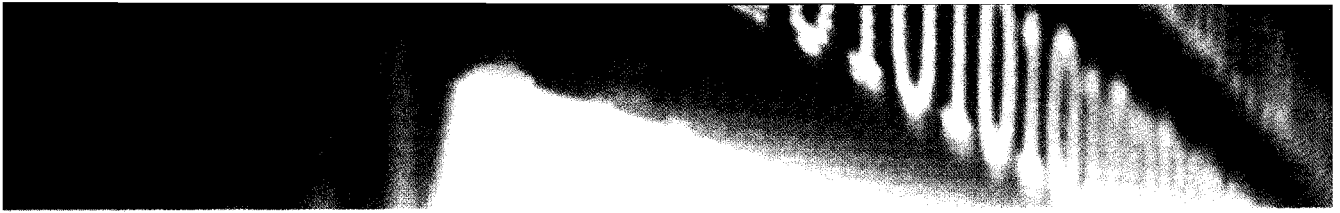


그림 14 42V 벨트형 차량에서의 Idle Stop & Go 기능

Idle Stop & Go 기능

Idle Stop & Go 기능은 차량의 연비를 약 4% 이상 향상시킬 수 있다. 복잡한 도심 주행시 빈번한 신호대기를 할 경우, 더 큰 효과를 얻을 수 있다.

이는 신호 대기시 자동으로 연료분사를 차단하여 엔진 동작을 멈추게 함으로써 불필요한 연료 소모를 막기 때문이다. 운전자가 신호 대기로부터 차량을 출발하려고 할 때는 그 시점에서 자동으로 IGS에 의해 엔진이 재기동하게 된다. 그림 14는 엔진 정지 및 재시동시 동력의 전달 및 에너지의 흐름을 보여준다.

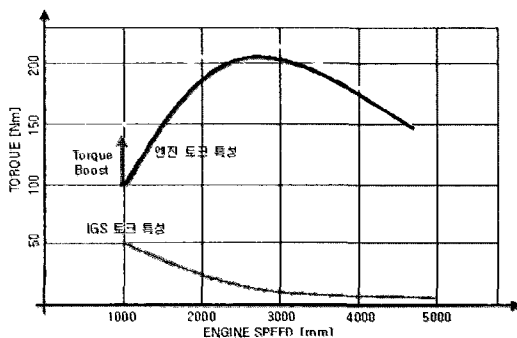


그림 15 동력보조 기능의 예

동력 보조 기능

동력 보조 기능이란 차량의 가속 성능의 향상 및 엔진의 최적 연비 운전을 위해 IGS의 출력 토크로 엔진의 동력을 보조하는 기능을 말한다. 하이브리드 차량에서는 일반적인 기능으로 보편화 되어 있지만 42V 차량에서는 많은 고려가 필요하다. 이는 특히 에너지 저장 장치인 배터리의 특성과 밀접한 관련을 갖고 있다. 그림 15는 IGS에 의한 동력 보조로 인해 최종 출력 이 상승함을 보여준다.

회생제동 기능

차량에서 전기에너지의 효율적인 관리는 매우 중요하다. 일반적으로, 연비 측면에서 100W의 전력이 약 100kg의 차량의 중량과 같은 효과를 갖고 있다고 알려져 있다. 이는 100W의 전력 소비를 줄이면 약 0.1~0.15 /100km 정도의 연비가 향상된다는 것이다. 차량의 제동시 브레이크로 소비되는 기계적인 에너지를 전기적인 에너지로 저장하거나 내리막 비탈길에서 엔진의 연료 분사를 차단한 상태로 차량의 자연 주행에 의한 IGS의 발전 에너지를 저장하면 상당한 연비 향상을 이룰 수 있다. 이것이 에너지 회생제동의 기본 개념이다. 그러나 회생제동 기능을 구현하기 위해서는 많은 보호 기능이 필요하다. 이는 일반적으로 자동차 업체의 차량 제어 로직에 반영되게 된다.

결론

이상으로 차량의 신 전원 체계로서 전 세계적으로 연구/적용되고 있는 42V 시스템의 연구 배경 및 개발 동향에 대해 간략히 살펴보았다. 42V 시스템 차량은 2010년 이후부터 점차적으로 단일 전원 시스템이 구축될 것으로 예상되며 중간단계로서 42/14V의 이중

전원 시스템이 2008년 이전에 대부분의 자동차 업체에서 양산 가능할 것으로 예측된다. 그러나, 2kW급 이하의 차량에는 현재의 14V 시스템 및 이중전원시스템 차량이 같이 생산될 것으로 예상된다.

42V/14V의 이중 전원 차량의 주요 구성은 아래와 같으며 그림 16에 잘 나타나 있다.

1. IGS machine은 벨트형 구조
2. 배터리 시스템은 36V VRLA 배터리 시스템
3. MCU와 DC/DC 컨버터는 one package로 구성
4. 차량 제어로직을 구현하기 위한 VCU (Vehicle Control Unit)
5. 에너지 저장 장치를 모니터링하고 제어하기 위한 EMS(Energy Management System)
6. Jump-Start 기능을 위한 양방향 DC/DC 컨버터
7. 각종 컨트롤러간의 통신은 CAN 규약으로 구현될 것으로 예상된다.

42V 시스템 차량은 앞서 언급한 것 이외에도 14V 시스템에서 고려하지 않았던 부가 장치 및 다양한 보호 기능들이 개발되어야 한다. 간략히 소개하면 아래와 같다.

1. 차량의 경사로 밀림 방지 기능 개발
2. 자동변속기를 적용할 경우, Idle Stop 후 엔진을 재 기동시의 특성 개선
3. 42V 컨트롤러(MCU & DC/DC 컨버터)의 냉각 방법 개발
4. 벨트 구동형의 경우, 적절한 벨트/폴리 개발
5. 42V 부품들의 엔진 룸 장착성 및 패키징 개발
6. Jump-Starting 기능 개발
7. Arcing 방지용 Connector 및 와이어링 개발
8. 저렴한 가격의 소형 모터/액츄에이터 개발 등

42V 시스템 차량의 본격적인 양산을 위해, 세계 유수의 부품업체 및 자동차 업체들은 아직 해결해야 할 여러 문제점과 제약 조건들을 극복하기 위해 많은 연구가 진행되고 있다.

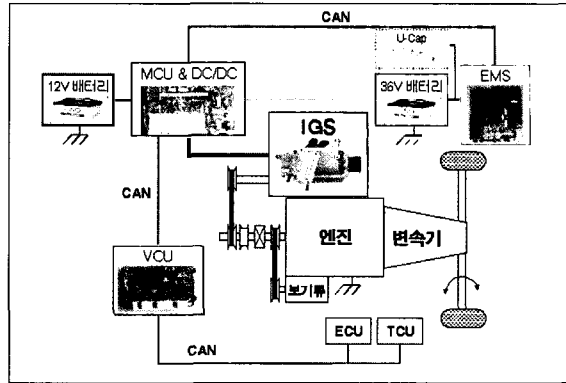


그림 16 42V 이중전원시스템 차량의 예상 구성도

[참 고 문 헌]

- [1] J.M.Miller, D.Kaminski, T.M.Jahns, "Making the Case for a Next Generation Automotive Electrical System", International Congress on Transportation Electronics, Convergence 1998, Hyatt-Regency Hotel, Dearborn, MI, Oct19-21, 1998
- [2] Paul Nicasri, Wolf-Dieter Blauensteiner, Jarvis Carter, Philippe Desroches, Alfons Graf, Tom Keim, Peter Miller, "Jump Starting and Charging Batteries with the New 42V PowerNet",
- [3] Henry Huang, John M.Miller and Paul R.Nicasri, "Automotive Electrical System in the New Millennium", SAE Technical paper Series, 1998
- [4] S.Y.Choe, "The State-of-art of power electronics in automotive application", ICPE, 2001
- [5] Hans-Michael Graf, Rainer Knorr, Peter Skotzer, "42 Volt-system with Integrated Starter-Generator-System approaches and demands on electrical storage device", MIT Industry Consortium Meeting March 26-27, 2001, Lisbon
- [6] Masayuki Yasuoka, Masaki Uchida, Shusaku Katakura and Takahiro Yoshino, "An Integrated Control Algorithm for an SI Engine and a CVT", SAE, 1999