

### 자동차 42V 전원체계용 에너지 저장장치에 관한 연구

이백행, 권태성, 송현식, 신동현, 김병우, 김희준\*  
자동차부품연구원 전장기술연구소, 한양대학교\*

### A Study on Energy Storage System for Automotive 42V Powernet

Baek-Haeng Lee, Tae-Sung Kwon, Hyun-Sik Song, Dong-Hyun Shin, Byeong-Woo Kim, Hee-Jun Kim\*  
Korea Automotive Technology Institute, Hanyang University\*

**Abstract** - 환경 친화적인 자동차, 안전한 자동차, 편리하고 편안한 자동차 등 시장과 소비자의 다양한 욕구에 부응하기 위하여 기존의 기계식 자동차 부품들을 전기/전자식으로 대체하기 위한 노력이 꾸준히 진행되고 있으며, 특히 최근의 반도체 기술의 비약적인 발전과 더불어 자동차 부품의 전기/전자화가 급격히 진행되고 있다. 이에 따라 자동차에서 사용되는 전기에너지의 소요도 지속적으로 증가하여 기존의 14V 전원체계의 효율저하 및 용량의 한계를 초래하였고, 새로운 차량용 전원체계에 대한 필요성이 대두되게 되었다. 이와 같은 필요성에 의하여 새로운 차량용 전원체계에 대한 다각적인 검토가 이루어졌으며, 1990년대 중반 이후 차량용 전원 시스템의 새로운 대안으로 42V 전원체계가 제시되었다.

본 논문에서는 자동차 42V 전원체계의 도입에 있어서 핵심적인 역할을 수행하는 에너지 저장장치의 개발 필요 및 동향에 관해 간략히 소개하고, 출력 및 내구성능을 개선한 에너지 저장 시스템 개발결과에 대해 소개하고자 한다.

#### 1. 서 론

자동차의 전원시스템은 기본적으로 전력을 생산하는 전원공급 장치, 발전된 전력을 보관하는 에너지 저장장치, 그리고 이를 사용하는 부하로 나누어 생각할 수 있다.

자동차의 14V 전원시스템은 1950년대 중반 이후부터 현재까지 대부분의 승용차량에 적용되고 있는 전원시스템으로, 엔진의 동력을 벨트를 통하여 전달받아 전기에너지를 발생시키는 전원공급 장치인 알터네이터와 이에 의해 발생된 전력을 저장하여 시동장치, 점화장치, 조명장치 등 필요한 부하에 공급하는 축전지 그리고 이 전장품들을 연결하고 제어하는데 필요한 각종 릴레이 및 Wire harness로 구성되어 있다.

벨트나 체인으로 엔진 동력원에 연결된 알터네이터는 차량에서 사용되는 필수적인 전력을 공급하고, 동시에 에너지 저장장치인 축전지를 충전하는 역할을 수행하며, 전원공급 용량은 통상 1.2KW 정도이고, 정격 출력전압은 13-14V이나 부하에서 사용되는 전력량 및 축전지의 상태나 충전정도 등에 따라 9V에서 16V 사이의 출력전압을 나타낸다.

자동차의 엔진이 정지되어 있는 동안이나 또는 시동 시에 차량에서 사용되는 전기부하에 전력을 공급하는 축전지는 대부분의 차량에 12V 납산축전지(Lead-Acid Battery)가 장착되어 있으며, 차량에서 필요로 하는 전력량에 따라 축전지의 용량이 결정된다.

지난 수십 년 동안 차량 내 전기·전자 시스템은 점차 복잡해지고, 전체 차량의 전력 요구량도 꾸준히 증가하고 있을 뿐만 아니라 연비개선 및 배출가스 저감에 대한 시장의 요구와 함께 운전자의 편의성 및 안전성 증대에 대한 요구도 꾸준히 증가하고 있어, 이에 대응하기 위해 기존의 기계식 부품들이 전기/전자화 되어 차량의 소요 전력은 지속적으로 증가하고 있다. 아울러 차량 내 배선(Wiring Harness)도 점차 복잡해져 오늘날의 고급 승용차는 통상 2km 이상의 전선과 약 2000개의 터미널, 350여 개의 커넥터 그리고 거의 1500개의 서로 다른 회로들로 구성되어 있다. 6V 전원 시스템을 사용하던 지난 1950년대 중반 이전까지만 해도 통상 75미터 이하의 전선과 100개 이하의 터미널 그리고 약 30여 개의 커넥터 등으로 차량 배선이 구성되어 있었다.<sup>1)</sup>

자동차에서 사용되는 전력을 발생시키는 발전용량은 지난 수십 년간 연간 약 4%정도 증가하는 추세를 보여 왔으며, 향후 엔진부의 Belt류들을 없애기 위한 노력의 일환으로 관련부품들을 전자화 한다면 발전용량의 증가율은 더욱 가파르게 상승할 것으로 예상된다. 아래 그림1.에 자동차 전원공급 장치의 용량증가 추이 및 전망을 나타내었다.<sup>1)</sup>

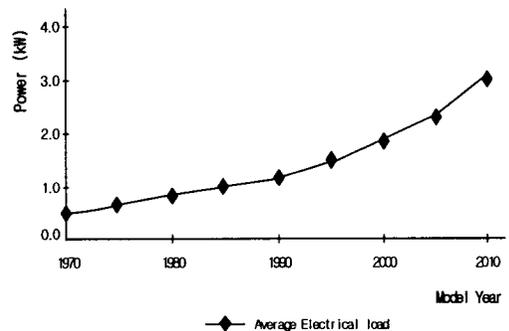


그림 1. 차량 전원공급 장치의 용량증가 추이

다양한 소비자의 요구 및 반도체 기술과 전자제어 기술의 발전에 따른 차량의 전기/전자화가 지속적으로 진행되어 차량 내 소모전력 요구량은 지속적으로 증가하고 있다. 이러한 소모 전력의 증가는 결국 전류 증가를 수반하게 되어 전력 제어소자의 가격상승을 야기하게 되고, 아울러 손실도 크게 증가하게 되어 시스템의 효율은 급격히 저하된다. 또한 손실은 열로 발생되므로 여러 가지 문제를 야기하게 되므로, 이러한 문제들을 해결하기

위해 전압을 올려서 전류를 감소시키는 방안이 논의되기 시작했다.

고전압 체계로의 전환과 관련하여 1988년 미국 자동차 공학회 (Society of Automotive Engineers : SAE)에서 인체에 영향을 미치는 안전성 등에 관한 조사를 수행하여 발표한 보고서 SAE J2232에 따르면 전원 전압이 직류 65V 이하일 경우 인체에 치명적인 영향을 미치지 않는 것으로 알려져 있으며, 또한 독일의 VDE는 차량용 전원의 전압이 60V를 초과하지 않도록 VDE 0100/410에서 규정하고 있다. 이러한 배경에서 42V 시스템이 차세대 자동차용 전원 표준으로 간주되고 있으며, 36V 축전지에 42V의 공칭전압을 갖는다.

즉, 기존의 14V 전원 시스템의 한계를 극복하기 위한 다른 형태의 전원 공급 장치에 대한 개발이 검토되었으며, 이에 대한 대안 중의 하나로 제시된 것이 자동차용 42V 전원시스템이다

## 2. 본 론

### 2.1 자동차용 42V 에너지 저장장치

#### 2.1.1 42V 에너지 저장장치의 요구사항 및 특성

42V 에너지 저장 장치가 갖추어야 할 필수적인 요건은 수명과 성능에 관한 것이라 할 수 있다. 42V 전원 시스템에 적용되는 부하들 가운데 에너지 저장 장치에 가장 두드러진 변화를 야기하는 부하는 Engine Stop-Start 기능과 Electric Power Assist 또는 회생제동 기능을 구현하기 위한 일체형 시동 및 전원공급 장치(ISG: Integrated Starter Generator)라고 할 수 있다.<sup>2)</sup>

차량이 일정시간 이상 정차하는 경우에 엔진을 정지시키는 Engine Stop-Start(또는 Idle stop-start) 기능 구현 시 엔진의 시동 횟수가 기존의 차량에 비하여 통상 4배에서 10배까지 증가하게 되며, 이때 필요한 에너지를 Battery 등 에너지 저장장치에서 시동장치로 공급하여야 하므로 Battery의 수명 등에 큰 영향을 미친다. 또한 엔진의 출력이 상대적으로 낮은 저속 영역이나 가속 및 추월 시 등에 ISG를 이용하여 전체 차량의 출력을 증강시키는 Electric Power Assist 또는 Power Boosting 기능을 사용할 때 소요되는 전기에너지는 짧은 시간동안 상당히 높은 출력을 필요로 하는 형태로 에너지 저장 장치에서 이를 원활히 공급할 수 있어야 한다.

나아가 차량의 제동 시 운동에너지를 전기 에너지로 회수하는 회생 제동(Recuperative 또는 Regenerative Braking) 기능이 구현될 때, 에너지 저장 장치로 환원되는 충전 전류량은 정상시에 전원 공급 장치에 의해 충전되는 전류량에 비해 월등히 많고, 또한 매우 짧은 시간 동안에 충전이 일어나므로 에너지 저장 장치는 높은 충전 수입률을 가져야 한다.

#### 2.1.2 복합형 에너지 저장 장치

전기 에너지를 저장하는 저장 장치의 특성에서 고려해야 할 두 가지 요소로 에너지와 출력을 생각할 수 있으며, 에너지 저장장치의 고유한 특성에 따라 얼마나 많은 에너지를 저장할 수 있는가 또는 얼마나 빨리, 효과적으로 저장된 에너지를 사용할 수 있는가가 결정된다.

자동차에 가장 많이 사용되고 있는 에너지 저장 장치인 납산 축전지 (Lead-Acid Battery)는 에너지 입·출력 과정에서 화학적인 반응(Chemical Reaction)이 수반되는 저장 장치로 상대적으로 높은 에너지 밀도를 가지며

은 에너지를 저장 할 수 있으나, 출력 밀도가 낮아 빈번한 전류의 입출력, 특히 대 전류 입출력을 필요로 하는 운전 조건하에서는 Battery의 수명을 보장하기 어렵다. 따라서 Battery를 전기 자동차나 하이브리드 자동차의 에너지 저장 장치로서 적용하는 데는 한계가 있으며 특히 최근에 관심이 집중되고 있는 42V 시스템 등에서 Idle-stop/start 기능을 포함한 Mild Hybrid 기능을 구현하는데 어려움이 있는 것으로 알려져 있다.

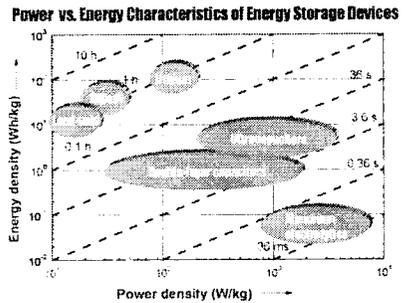


그림 2. 에너지 저장 장치의 출력 특성

Battery의 이러한 단점들을 보완하기 위해 Battery에 비해 출력 밀도가 약 20배 이상 큰 울트라 커패시터를 이용하는 방법이 대안으로 논의 되고 있다. 즉, 에너지 저장 능력이 큰 축전지와 높은 순시 출력을 갖는 Ultracapacitor를 병렬로 적절히 조합하여 대 전류 운전 에 적합한 에너지 저장 장치를 구성하는 것이다. 이를 복합형 에너지 저장 장치(Hybrid Energy Pack : HEP)라고도 한다.

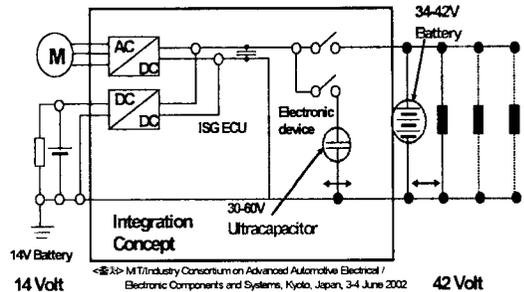


그림 3. 42V 전원체계 구성 예

복합형 에너지 저장 장치의 기본 운용 방안은 Ultracapacitor의 우수한 출력 특성을 효과적으로 이용하는 것으로서 에너지 저장 장치의 성능 및 수명을 보증하고 운전 효율을 높이는 데 초점이 맞추어져 있다. 그림 3에 복합형 에너지 저장장치를 이용한 42V 전원 체계의 구성 예를 나타내었다.

### 2.3 모니터링 제어장치 및 특성 비교시험

42V 전원체계용 복합형 에너지 저장장치를 효율적으로 운용하기 위하여 상태 모니터링 및 릴레이 제어기능을 수행하는 제어기를 그림 4와 같이 개발하였다.

42V 전원체계용 에너지 저장장치의 특성을 비교하기 위하여 양산 차량에 탑재되어 판매되고 있는 36V

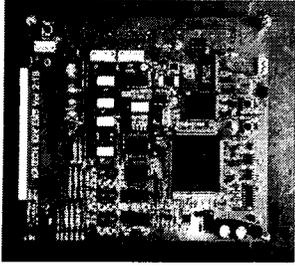


그림 4. 42V HEP용 제어기

VRLA (Valve Regulated Lead Acid) Battery, 42V 전원용 Ultracapacitor 그리고 이 두 저장장치를 병렬로 연결한 복합형 에너지 저장장치에 대하여 25°C 충전상태 (SOC : State-of-Charge) 60% 상태에서 차량조건에 빈번하게 사용되는 150A 전류로 방전하는 시험을 수행하였다.

시험에 사용된 저장장치의 사양은 아래 표 1, 2와 같다.

정격 전압	정격용량 (5Hr)	에너지 밀도	출력밀도 (10초)
36[V]	20[AH]	29.3[Wh/kg]	381.5[W/kg]

표 1. 36V VRLA Battery 사양

정격 전압	정격 Capacitance	DC ESR	최대 저장 에너지@45[V]
45[V]	275[F]	5.2[mΩ]	77[Wh]

표 2. Ultracapacitor 사양

시험결과 36V Battery는 150A 방전조건에서 충전된 용량의 27.9%인 3.04Ah만을 사용하는 것이 가능하여 가장 낮은 방전효율을 보였으며, Ultracapacitor는 96.8%의 우수한 방전특성을 보였으나 절대적인 에너지의 양이 작아 15초만에 방전 중지조건에 도달함을 확인할 수 있었다. 각 저장장치별 방전시험 결과를 아래 표 3에 간략히 정리하였다.

저장장치	방전 용량	방전 시간	방전 효율
Battery	3.04[Ah]	72[sec]	27.9[%]
Ultracapacitor	0.61[Ah]	15[sec]	96.8[%]
Hybrid Pack	3.92[Ah]	93[sec]	33.3[%]

표 3. 저장장치별 방전 특성 비교

Battery와 Ultracapacitor를 병렬로 연결한 Hybrid Energy Pack의 경우 Battery 단독으로 사용하는 경우와 비교하면 병렬연결로 인한 정격용량의 증가는 5%이나 방전용량은 29%, 방전효율은 19% 증가하여 보다 효율적인 자동차용 에너지 저장장치로 활용이 가능함을 알 수 있다.

아래 그림 4에 36V Battery, Ultracapacitor 및 Hybrid Energy Pack의 방전 특성 및 용량을 나타내었다.

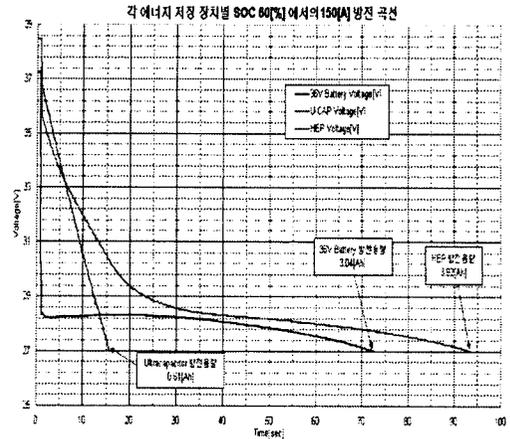


그림 5. 에너지 저장장치의 방전 특성

### 3. 결 론

일반적인 자동차 전원공급 시스템에 대해 개략적으로 살펴보고, 자동차용 42V 전원 체계의 도입 필요성 및 시스템 특징에 대해 알아보았다. 나아가 42V 전원체계용 에너지 저장장치로 사용되는 36V VRLA Battery, Ultracapacitor 및 Hybrid Energy Pack 등의 방전 시 출력특성 및 용량을 시험을 통하여 확인하였고, Battery와 Ultracapacitor를 조합하여 사용함으로써 용량 및 효율이 개선됨을 알 수 있었다.

현재 이 두 저장장치를 Battery와 Ultracapacitor의 충전상태에 따라 적절히 조합하여 사용함으로써 저장장치의 수명을 연장하고 충·방전 성능을 향상시켜 시스템 효율을 개선하기 위한 에너지 모니터링 및 제어장치의 개발이 진행 중이며, 이를 실제 차량에 장착하여 검증시험을 수행할 계획이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Paul Nicastrì and Henry Huang, "42V PowerNet : Providing the Vehicle Electrical Power for the 21st Century", SAE 2000-01-3-50
- [2] Mehrdad Ehsani, Ali Emadi and Hongwei Gao, "42V Automotive Power Systems", SAE 2001-01-2465
- [3] Dell A. Crouch, Gary L. Ballard, "Batteries for 42/14 Volt Automotive Electrical Systems", SAE 2000-01-3065.
- [4] Kousuke Suzui, Shuichi and Takeshi Tachibana, "A Battery System for the Crown Mild Hybrid", EVS-19, 2002
- [5] B.J. Arnet and L.P. Haines, "Combining Ultracapacitors with Lead-Acid Batteries", EVS-17, 2000
- [6] Andrew Burke and Marshall Miller, "Comparisons of Ultracapacitors and Advanced Batteries for Pulse Power in Vehicle Applications : Performance, Life, and Cost", EVS-19, 2002
- [7] C. Jehoulet, L. Moreau and B. Pichon, "Ultracapacitors : Power Buffer for Automotive Applications" EVS-17, 2000
- [8] 이백행, 송현식, 김병우, "42V 전원체계용 에너지 저장 및 관리장치 개발" 중기거점기술개발사업 Workshop 논문집, p53-p64, 2003
- [9] 자동차용 고전압(42) 체제 부품 및 시스템 개발에 관한 산업분석 최종보고서, 자동차부품연구원, 2002