

# DC-DC 컨버터를 사용한 고전압 배터리의 혁신

바이코의 BCM은 경로 임피던스가 낮고 응답 시간이 빠르며 고전압 배터리를 48V 배터리처럼 보이도록 변환하여 전력 공급 네트워크에 제공하므로 48V 중간 배터리가 필요하지 않다. 이 기사에서는 바이코 BCM 컨버터의 기능, 작동 및 성능을 기존 DC-DC 컨버터와 비교하여 자세히 설명하고, EV 전력 아키텍처에서 사용할 때의 아키텍처 구현을 제안한다.

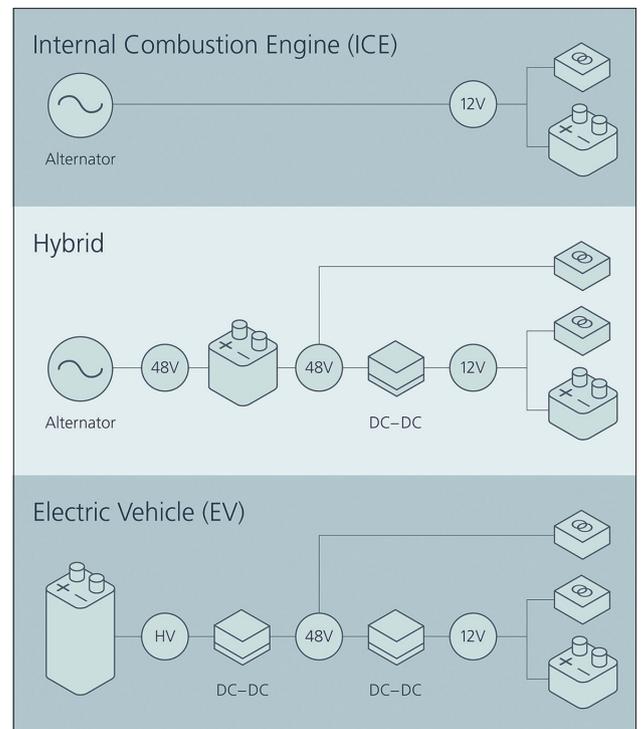
글/이안 마즈사(Ian Mazza), 바이코 코퍼레이션 제품 마케팅 이사

순수 전기 차량(EV) 및 하이브리드 차량의 전력 아키텍처에서는 다양한 전압으로 전력을 저장 및 분배하여 다양한 하위 시스템(감지, 제어, 안전 및 인포테인먼트 등)에 전력을 공급한다. 이러한 전력 저장 및 전력 공급 네트워크에서는 비용, 공간 및 무게 문제가 대두된다. 하이브리드 차량은 이러한 문제를 48V 배터리 및 48V 배전 시스템으로 해결하지만, EV는 고전압 배터리(800V, 400V) 및 48V 배전 시스템으로 해결한다.

48V 배터리는 필요한 전력을 즉시 공급할 수 있지만 EV 아키텍처의 중간 배터리는 무게, 공간 및 비용 면에 부정적인 영향을 미친다. EV 전력 아키텍처 내에서 혁신을 하려면 고전압 배터리를 사용하여 고전압 에너지 저장의 이점을 보존하는 동시에 SELV 범위 내에서 전력을 공급하기 위한 DC-DC 컨버터를 사용하여 중간 배터리의 필요성을 제거하는 것이다.

기존 컨버터는 전압 변환을 제공할 수 있지만 다양한 하위 시스템에서 끌어온 전력을 충족하는 데 필요한 빠른 응답 속도가 부족하다. 바이코의 BCM은 경로 임피던스가 낮고 응답 시간이 빠르며 고전압 배터리를 48V 배터리처럼 보이도록 변환하여 전력 공급 네트워크에 제공하므로 48V

그림 1. ICE, 하이브리드 및 EV 아키텍처의 배전 및 에너지 저장에 대한 비교



중간 배터리가 필요하지 않다. 이 기사에서는 바이코 BCM 컨버터의 기능, 작동 및 성능을 기존 DC-DC 컨버터와 비교하여 자세히 설명하고, EV 전력 아키텍처에서 사용할 때의 아키텍처 구현을 제안한다.

### BCM 컨버터

BCM 컨버터는 입력 전압(1차측 전압이라고도 함)에 대하여 출력 전압(2차측 전압이라고도 함)이 고정된 비율을 갖는 고정 비율 컨버터로 작동한다. 고정 비율은 1보다 크거나 같거나 작을 수 있다. 이 고정 비율을 K 인자라고 부르며, 입력 전압을 출력 전압( $V_{PRI}/V_{SEC}$ )으로 나눈 값으로 정의된다. K 인자가 1보다 작으면 입력 전압은 감소하지만 입력 전류는 증가한다. K 인자가 1보다 크면 입력 전압이 증가하고 입력 전류가 감소한다.

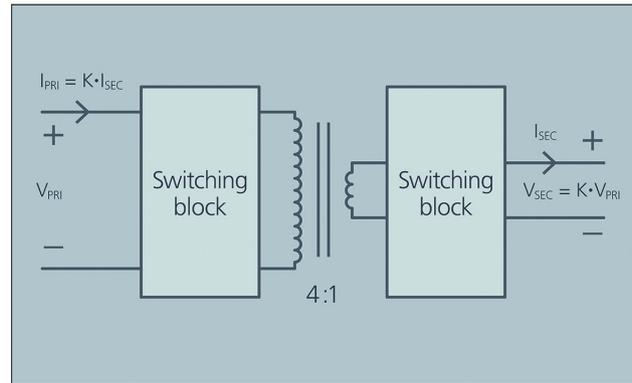
표 1. K 인자에 의한 전압 대 전류 변환의 예. 개념적으로 BCM 컨버터의 내부 작동은 3 단계로 구성된다.

K factor	1/32	1/4	1/1	4/1
$V_{PRI}$	384	48	48	12
$V_{SEC}$	12	12	48	48
$I_{PRI}$	1	1	1	4
$I_{SEC}$	32	4	1	1

대칭과 적절한 시퀀싱 및 제어를 통해 BCM을 스텝다운(높음에서 낮음으로 변환) 또는 스텝 업(낮음에서 높음으로 변환)으로 작동할 수 있다. 이 고유한 양방향 기능을 통해 BCM은 어느 방향으로든 동일한 효율성으로 전력 변환을 할 수 있다. 예를 들면 저장 요소로부터 급속한 충전 및 방전이 있는 애플리케이션에서는 전력 변환의 가능성을 주지만, 이 기사의 목적상 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 변환하는 애플리케이션에 초점을 맞출 것이다.

BCM 컨버터는 제로 전류, 제로 전압 스위칭(ZCS/ZVS)을 활용하며 기존 컨버터보다 더 높은 주파수에서 작동한다. 예를 들면 BCM6135는 1.2MHz에서 작동하는데 기존의 ZV/ZC 공진 컨버터와 달리 BCM은 협대역 주파수 내에서 작동한다. BCM의 고주파 작동은 부하 전류의 변화에 빠르게 응답하고 입력에서 출력까지 낮은 임피던스 경

그림 2. BCM 컨버터의 기능 블록 다이어그램



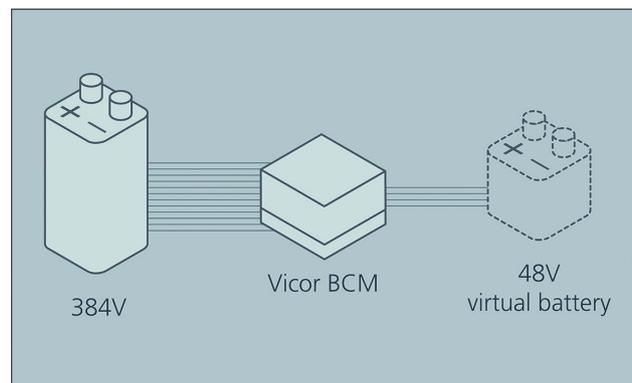
로를 제공한다. 고정 비율 변환, 양방향 작동, 빠른 과도 응답 및 낮은 임피던스 경로는 BCM이 384V 배터리를 48V 배터리처럼 보이게 만드는 일련의 특성인데, 이것은 변환(transformation)이라고 부른다. 전력을 변환하는 이 기능은 기존 컨버터와 비교할 때 주요 이점이자 차이점이다.

### 전력 변환

BCM은 고정 비율 스케일링으로 입력 전압을 출력 전압으로 변환하는데, 이는 연산식  $V_{OUT} = K \cdot V_{IN}$ 을 이용하여 수학적으로 표현할 수 있다. 48V 배전 시스템이 384V까지 충전된 고전압 배터리에서 전력을 끌어 온다고 가정해 보자. 48V 버스의 부하는 배터리 출력의 고정 비율에 해당하는 입력 전압 범위를 갖는다.

절연된 BCM(1/8)은 HVDC 배터리의 출력을 48V 분배

그림 3. 고전압 배터리의 변환



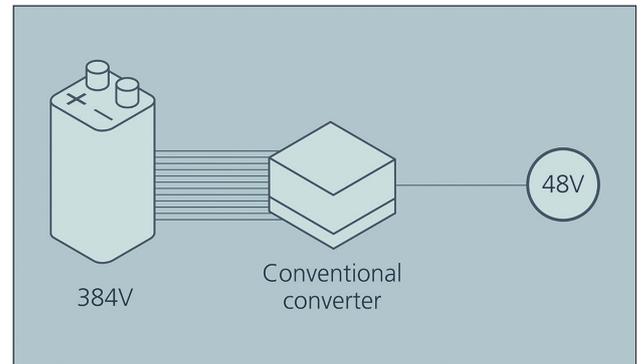
와 호환되는 전압 범위로 변환한다. BCM의 빠른 응답 시간으로 인해 낮은 쪽 측면의 부하를 볼 때 384V 배터리는 48V에서 방출되는 배터리처럼 보인다. BCM 컨버터는 고전압 배터리를 효과적으로 변환하여 전체 시스템이 고전압 배터리의 모든 이점을 통합하여 에너지 저장을 할 수 있도록 한다. 따라서 동등한 에너지 저장 용량의 48V 배터리에 비해 빠른 충전 시간과 향상된 에너지 밀도 등을 제공한다.

이제 동일한 애플리케이션이지만 기존 컨버터를 사용한다고 가정하자. 이 경우, 전압 범위의 입력은 입력의 변화와 상관없이 특정 출력 전압으로 레귤레이션된다. 입력 전압의 변동은 레귤레이션된 출력으로 전파되지 않는다. 레귤레이션형 컨버터는 대역폭이 낮아 배전 시스템을 배터리에 직접 연결하는 것 만큼 빠르게 전력을 공급할 수 없다. 낮은 쪽 측면에서 보면 이상적인 48V 공급 전압만 있다. 이 변환 방식은 유용성도 있지만 두 가지의 상대적인 취약점이 있다. 첫째, 낮은 대역폭은 높은  $di/dt$  방전동안 전류를 공급하기 위해 추가로 약간의 중간 에너지 저장 장치(용량 증가 또는 추가 배터리)가 필요하다. 둘째, 낮은 쪽 부하의 입력 전압은 높은 쪽 배터리의 고정 비율이기 때문에 레귤레이션 단계가 필요하지 않다. 기존의 컨버터는 불필요한 레귤레이션 작업으로 인해 에너지 낭비, 비용 추가, 전체 시스템 효율성 감소를 초래한다. 또한 레귤레이션형 컨버터의 제한된 대역폭은 반응 시간을 저하시켜 배전 시스템의 빠른 전력 소비로 이어진다.

전력 분배에서 전원의 전압 범위를 입력 부하 범위의 고정 비율로 설계함으로써 고전압(관련 이점은 낮은 경로 손실)을 사용하여 기존 컨버터가 있는 시스템에서 사용되는 불필요한 레귤레이션 단계 없이 전력을 분배할 수 있다. 나

전력 분배에서 전원의 전압 범위를  
입력 부하 범위의 고정 비율로 설계함으로써  
고전압(관련 이점은 낮은 경로 손실)을 사용하여  
기존 컨버터가 있는 시스템에서 사용되는 불필요한  
레귤레이션 단계 없이 전력을 분배할 수 있다.

그림 4. 고전압 배터리에서 48V 소스의 디커플링. 기존 컨버터가 배터리에서 48V를 생성할 때 컨버터의 낮은 대역폭은 빠르게 전력을 공급할 수 없으며 불필요한 레귤레이션 단계에서 에너지를 소비한다.

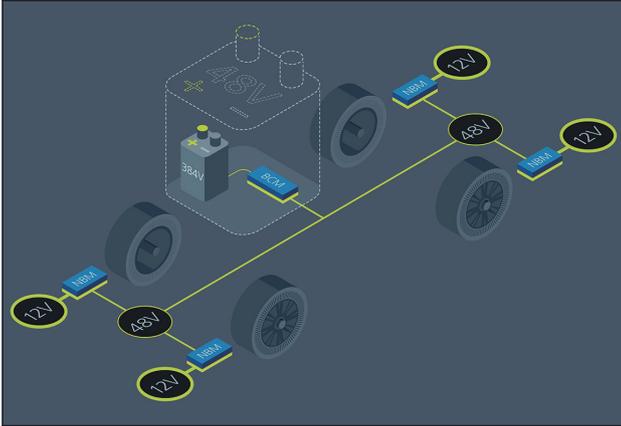


아가 전원, 부하 및 다양한 배전 경로에 대한 모든 전압 범위가 서로 고정 비율인 시스템을 설계하면 전력 저장, 배전 및 하위 시스템 기능에 대한 동급 최고의 기술을 최적으로 선택할 수 있다. 이것은 고성능 EV 전력 아키텍처에서 달성된다. 이러한 시스템은 리튬 이온 배터리(고속 충전 시간을 위한 용량 및 고전압 어레이)를 사용하고 48V(SELV 배전을 위한 LV148V 규격에 따라)에서 전력을 분배하며 최신 48V 전원 AI 기술과 함께 비용 효율적인 기존 12V 하위 시스템을 혼합하여 사용한다. BCM은 이러한 모든 전압을 단일 고효율 시스템으로 연결한다.

### 가상 48V 배터리 아키텍처

EV 전력 아키텍처는 BCM을 사용하여 고효율 및 경량 전력 시스템을 만들 수 있다. 1차 에너지 저장 장치인 고전압 배터리 어레이는 전력을 분배하기 위해 가장 효율적인 전압으로 단계적으로 내려간다(높은 쪽에서 낮은 쪽으로 변환). 고전압 어레이에는 장점(저전압 어레이에 비해 높은 에너지 밀도 및 짧은 충전 시간)이 있어 EV 용도에는 바람직하지만 차량 전체의 부하에 전력을 분배하기에는 위험하다는 단점(SELV 아님)도 있다. 대신 LV148 규격에 배전 시스템을 구현하면 안전 전압(SELV)에서 전력을 배분할 수 있으므로 배터리의 고전압 보다 더 쉽게 유지 관리할 수 있다. 또한 레거시 12V에서 배전된 경우보다 낮은 전류로 인해 필요한 구리의 양이 더 적어진다.

그림 5. EV 전력 아키텍처



BCM 컨버터는 K 인자 1/8로 조절된 HV 배터리 방출 특성을 반영한다. 이 가상 배터리는 실제 48V 배터리만큼 효율적으로 LV148 호환 배전 시스템에 전력을 공급하면서 시스템에서 고전압 배터리의 에너지 밀도 및 관련 이점을 제공한다.

바이코의 BCM6135 컨버터는 절연되어 있으므로 고전압 소스를 SELV 분배에 연결할 때 필수적인 보호 기능을 제공하며, 정격 전류의 30% 이상에서 작동할 때 96% 이상의 효율과 97% 이상의 피크 효율을 제공한다. 최대 65A(3000W 이상)의 전력을 지속적으로 제공할 수 있는 BCM6135 컨버터 어레이는 HVDC와 SELV 전압 범위간에 높은 전력 변환 단계를 생성할 수 있다. BCM6135는 입력

그림 6. 출력 부하 전류에 대한 BCM6135 효율

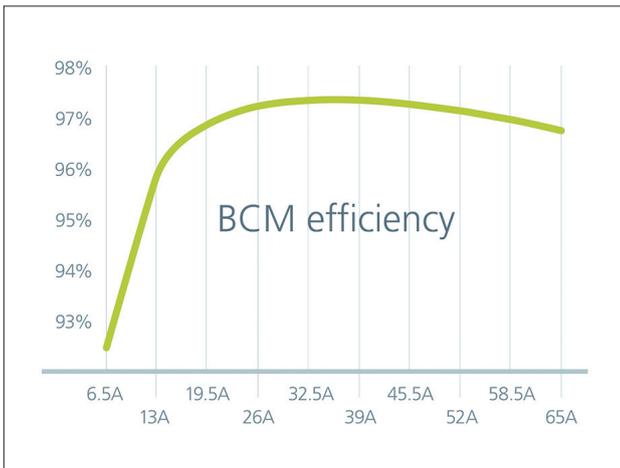
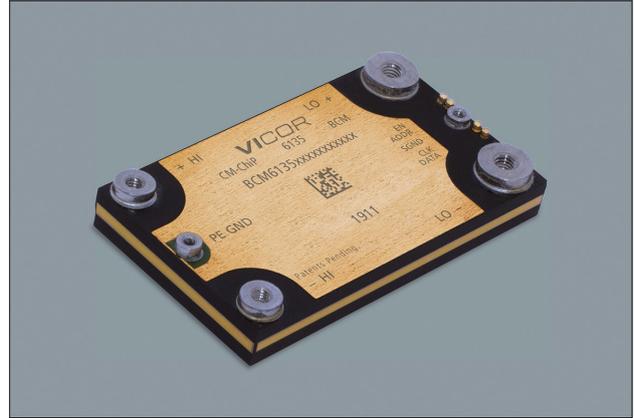


그림 7. 새시 실장 BCM6135 사진



범위 260~410V와 고정 비율 변환 1/8로 48V 분배와 호환되는 출력을 제공한다.

## 48V 분배 확장

시스템 전력이 48V 가상 배터리에서 생성되는 경우에도 차량 전체에 걸쳐 다양한 전력 요구 사항을 가진 48V 및 레거시 12V 입력 전압이 혼합된 광범위한 하위 시스템 부하에 전력이 분배되어야 한다. 전력 공급 시 48V와 12V를 비교하면 각 이점은 분명하지만(더 높은 효율과 더 가벼운 케이블) 시간 경과에 따라 이 혼합이 어떻게 변할지는 분명하지 않다. 12V 사용이 제한적이기 때문에 차량 전력 아키텍처는 새로운 하위 시스템에 적응할 수 있을 만큼 유연하면서도 필요한 모든 케이블링의 무게와 비용을 최적화해야 한다.

이상적인 솔루션은 물리적으로 가능한 한 48V 분배를 확장하고 필요한 경우에만 레거시 요구를 위해 12V로 변환하는 것이다. LV148 규격의 작동 범위는 1/4 K 인자 변환으로 12V 분배 호환 입력으로 변환될 수 있으므로 BCM 컨버터는 효율성을 극대화하기 위한 이상적인 솔루션이다. 또한 두 전압 모두 SELV이므로 절연이 필요하지 않으며 비절연 컨버터를 사용하여 시스템 전체에서 48V를 12V로 변환할 수 있다. 다른 모든 면에서 동일한 기능을 가진 비절연 BCM을 NBM이라고 하며, 이 제품은 빠른 과도 응답, 낮은 임피던스 및 양방향 작동 등 이전에 설명한

것과 동일한 이점을 모두 제공한다.

이 배전 아키텍처는 48V 분배의 모든 이점을 제공하면서도 48V 또는 12V 입력 시의 필요에 따라 새로운 하위 시스템을 채택할 수 있는 플랫폼의 유연성을 유지한다. NBM은 48V 입력을 12V 레거시 시스템에 12V 전원으로 나타

그림 8. 출력 부하 전류에 대한 NBM2317 효율

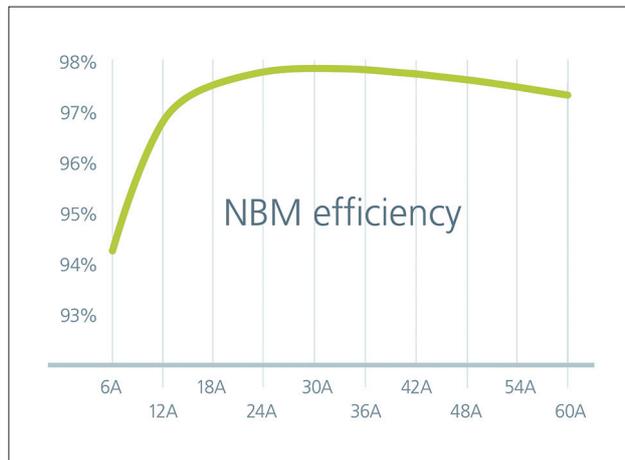
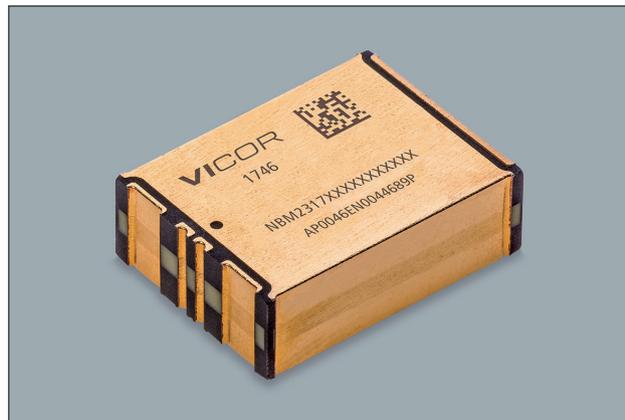


그림 9. 표면 실장 NBM2317 사진



BCM과 NBM은 모두 EV 전력 시스템에 기반을 두지만 배터리로 구동되는 다른 모든 시스템도 이들의 변형 기능을 활용할 수 있다. 즉 초경량 UAV에서 자율 공장 로봇, 엣지의 인공지능 컴퓨팅 플랫폼에까지 적용 가능하다.

나는 것처럼 변환한다. NBM은 차량의 어디에나 통합될 수 있다. 실물이 작기 때문에 기존의 레거시 하위 시스템이 배치된 위치에 관계없이 확장이 가능하고, 향후 네이티브 48V 하위 시스템으로 시스템 업그레이드를 위해 이를 제거하는 경우에도 지장이 최소화된다.

바이코의 NBM2317은 크기가 23 x 17 x 7.4mm이고 무게가 12g(0.5 온스 미만)이므로 48V 분배 확장 시 최적의 위치에 배치할 수 있다. 정격 전류의 30% 이상 작동 시 피크 효율은 97.5% 이상이다. NBM2317은 최대 60A(800W)의 전력을 지속적으로 공급할 수 있다.

중단을 최소화하면서 기존 레이아웃에 맞출 수 있는 표면 실장 호환 패키지로 상단 또는 하단을 통한 냉각 유연성을 갖도록 설계되었다. 높은 전력 밀도(4500W/in<sup>3</sup>)는 경쟁 모듈을 능가하는 동시에 동등한 전력 수준에서 어떤 개별 솔루션보다도 더 통합이 잘 된다.

BCM6135와 NBM2317을 함께 사용하면 48V와 12V 하위 시스템의 최적 조합을 채택하여 EV 전력 아키텍처에 유연성을 제공한다. 동시에 SELV 48V 분배 및 HVDC 전력 저장의 이점을 극대화하여 고성능 EV 설계의 비전을 달성한다.

## 결론

전원, 특히 배터리를 변환하는 BCM의 기능은 BCM을 기존 컨버터와 비교했을 때의 주요 이점이자 차이점이다. 전력 아키텍처의 기본 전력 공급 장치 출력 전압이 모든 다운스트림 하위 시스템 입력 전압에 대해 고정된 비율인 경우, 가장 높은 최적의 전압으로 전력을 분배한 다음 불필요한 레귤레이션 단계로 인한 손실 없이 BCM에서 필요에 따라 변환할 수 있다. EV 아키텍처를 위해 구현된 이점은 중간 배터리가 필요 없다는 것이다. 고전압 에너지 저장 배터리를, 호환되는 SELV 범위로 변환하여 차량 전체에 전달하기 때문이다. BCM과 NBM은 모두 EV 전력 시스템에 기반을 두지만 배터리로 구동되는 다른 모든 시스템도 이들의 변형 기능을 활용할 수 있다. 즉 초경량 UAV에서 자율 공장 로봇, 엣지의 인공지능 컴퓨팅 플랫폼에까지 적용 가능하다. **SN**