

연료전지궤도차량의 동력시스템

Power System of Fuel Cell Tram

장 세 기*, 목 재 균**, 임 태 훈***
 Seky Chang, Jai Kyun Mok, Lim Tae Hoon

Power of fuel cell tram is supplied by only fuel cell system or hybrid system of fuel cell and battery/super capacity. Fuel cell is operated by hydrogen, which is fed directly from hydrogen tank or by reforming gasoline or methanol into hydrogen. Power system is preferred with hybrid of fuel cell and battery/super capacity since it improves total energy efficiency through interaction of hybrid components and restores energy regenerated by braking. Also, power supply system by fuel cell hybrid should be designed to output optimum energy efficiency depending on driving mode of fuel cell tram.

연료전지 궤도차량 시스템

연료전지 궤도차량은 수소를 연료로 사용하는 연료전지만을 동력원으로 사용하는 순수수소 연료전지 궤도차량, 수소를 연료로 사용하는 연료전지와 함께 배터리나 슈퍼캐패시터를 함께 사용하는 순수수소 하이브리드 궤도차량, 메탄올이나 가솔린을 개질해 수소를 생산하여 연료로 사용하는 연료전지와 함께 배터리나 슈퍼캐패시터를 사용하는 연료개질형 하이브리드 궤도차량으로 분류되며, 각 시스템의 구성도를 그림 1에 나타내었다.

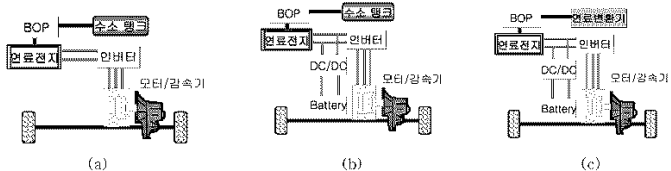


그림 1. 연료전지 궤도차량 시스템 분류: (a) 순수수소 연료전지 궤도차량, (b) 순수수소 하이브리드 궤도차량, (c) 연료개질형 하이브리드 궤도차량

순수수소 연료전지 궤도차량의 경우 시스템이 간단한 장점이 있고, 연료전지만으로 요구전력을

* 한국철도기술연구원 책임연구원 경희원

** 한국철도기술연구원 선임연구원 경희원

*** 한국과학기술연구원 책임연구원 비희원

생산해야 하므로 (부하추종형), 연료전지 출력 전영역에서 운전을 하게 된다. 순수수소 하이브리드 궤도차량의 경우 연료전지와 배터리 또는 슈퍼캐퍼시터가 동시에 전기를 공급하므로, 연료전지 시스템은 고효율 영역에서만 운전을 계속하고 순간적인 부하추종은 배터리나 슈퍼캐퍼시터가 담당하여 전체 효율을 높일 수 있으며 또한 회생 제동 에너지를 회수하여 사용할 수 있는 장점이 있어 실제 연료전지 궤도차량 시스템으로 적용될 것이다.

연료개질형 하이브리드 궤도차량은 기존의 가솔린 인프라를 활용할 수 있고 일종전 주행거리가 높은 장점이 있으나, 고온에서 작동하는 연료변환기의 시동시간이 길고 부하추종성이 떨어지는 단점이 있다.

궤도차량용 300 kW 급 연료전지 동력원 구성

궤도차량용 연료전지 동력원은 스택의 용량이나 시스템 면에서 연료전지 버스와 매우 유사한 구성을 가질 것으로 판단되므로, 연료전지 버스 시스템 구성을 토대로 궤도차량용 연료전지 동력원을 구성하는 것이 바람직하다. 가장 단순한 구성안은 연료전지 스택만을 탑재하는 방식으로 동력원 개략도는 그림 2와 같이, 200~300 kW 급 연료전지 스택과 이에 맞는 용량의 inverter 만을 이용해 전기를 생산하여 모터를 구동하는 것이다.

이는 다임러크라이슬러사(DCX)의 Citaro 연료전지버스의 구조로, 보조 에너지 저장장치 없이 대용량 연료전지만을 이용하므로 시스템 및 운전제어가 간단 (승용차용 연료전지의 직병렬 조합을 통해 대용량 연료전지를 구성할 수도 있음)하고 대부분의 연료전지 차량에서 사용하는 1 단 감속비 대신에 유단 변속기를 사용하므로 발진 및 동판성능이 우수한 장점이 있다.

반면, 차량 감속시 회생제동 에너지를 흡수하지 못하므로 하이브리드 연료전지버스에 비해 차량전체 효율 (TTW: Tank-To-Wheel 효율) 이 낮고, 연료전지시스템 시동 완료 후에야 차량 기동이 가능하며 (차량의 동적응답성능이 하이브리드 시스템에 비해 불리), 기존 상용버스에 사용하는 유단 변속기의 사용하므로 차량 패키징 면에서 불리할 수 있다.

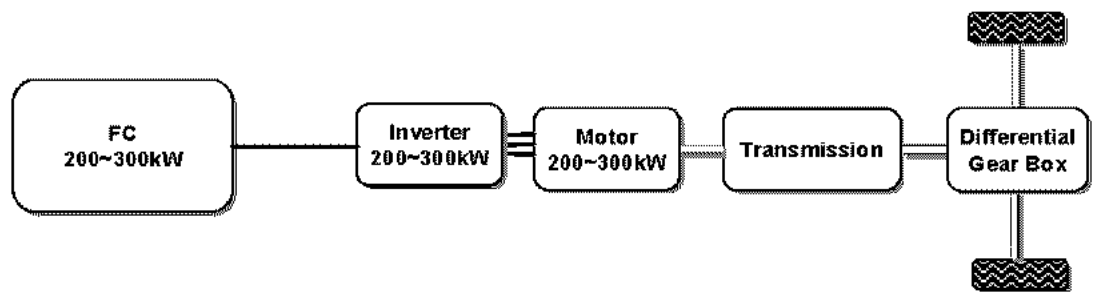


그림 2. 궤도차량용 300 kW 급 연료전지 동력원 구성안 1

두 번째 안은 60~100 kW 급 연료전지 스택과 DC/DC converter, 40~60 kW 급 battery 로 구성되는 동력원 두 세트를 조합해 구성되며, 개략도는 그림 3과 같다. 도요다의 FCHV-BUS2의 구조로 승용차에 사용하는 연료전지 하이브리드 시스템 두 셋을 조합하여 버스를 구성함으로써

개발비를 절감하고 부품 공용화에 유리하며, 배터리를 사용해 하이브리드화 시킴으로써 회생제동에너지 흡수 및 동력보조 가능한 장점이 있다.

반면, 승용차에 맞는 저전압 시스템을 사용하므로 인버터 및 모터의 에너지 전달효율이 낮고, 연료전지시스템 주변장치(BOP)도 두 셋을 사용하므로 패키징 및 에너지 효율면에서 불리할 수 있으며, power coupling device라는 별도의 동력 결합장치가 필요하여 연료전지시스템 출력단에 blocking 다이오드의 사용이 불가피한 단점이 있다.

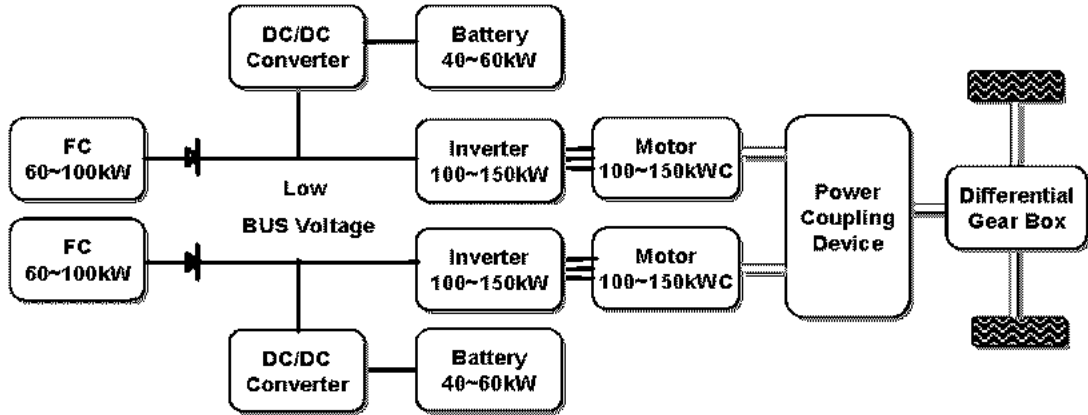


그림 3. 궤도차량용 300 kW 급 연료전지 동력원 구성안 2

세 번째 구성안은 그림 4와 같이 60~100 kW 급 연료전지 스택 두 개와 80~120 kW 급 battery 하나, DC/DC converter 와 inverter 로 이루어지는 것이다.

승용차용으로 개발된 연료전지시스템과 버스용에 적합한 고전압 인버터 및 모터 시스템을 이용해 비교적 짧은 기간내에 연료전지버스 개발 가능하며, 고전압 인버터의 사용으로 인버터 및 모터의 에너지 전달 효율이 우수하고, 배터리를 사용해 하이브리드화 시킴으로써 회생제동에너지 흡수 및 동력보조 가능한 장점이 있다.

저전압 연료전지시스템 (두 셋의 저전압 연료전지시스템을 병렬연결하여 저전압을 유지하는 구조) 과 고전압 인버터의 전압을 매칭시키기 위해, 연료전지 출력단에 DC/DC 컨버터의 사용이 불가피하며, 연료전지 출력단에 위치한 DC/DC 컨버터의 연속출력특성에 의해 연료전지출력파워가 제한을 받을 수 있고, 이로 인해 특히 차량순항속도 및 순항등판성능 면에서 불리함. 또한, 연료전지 출력단에 위치한 DC/DC 컨버터에 의해 차량 효율이 저감되고, 비교적 대용량의 배터리 시스템을 이용해 하이브리드화함으로써 별도의 대용량 DC/DC 컨버터를 개발하거나 혹은 소용량 DC/DC와 배터리 시스템의 직병렬 조합이 요구되는 단점이 있음. 각 연료전지시스템 출력단에 Blocking 다이오드의 사용이 불가피하고 1단 모터 감속비 및 종감속비에 의해 차량 최고속도 및 최고 등판성능이 제한을 받는다.

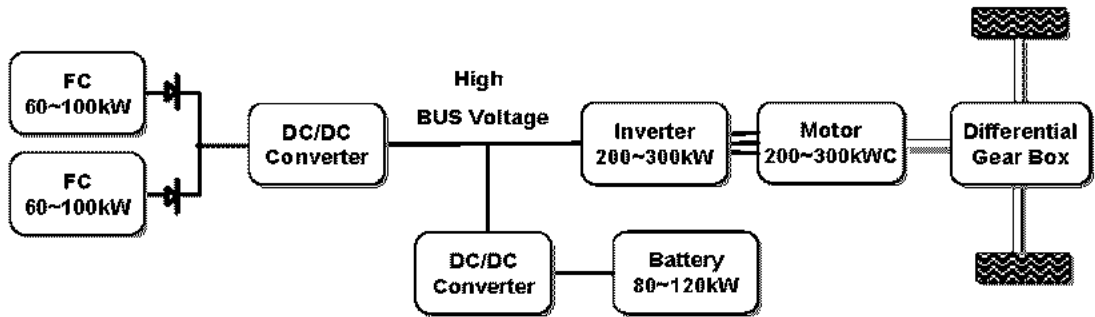


그림 4. 궤도차량용 300 kW 급 연료전지 동력원 구성안 3

네 번째 안은 그림 5의 구성안 3 과 유사하나 60~100 kW 급 연료전지 스택 두 개를 직렬로 연결하는 차이점이 있다. 세 번째 안과 마찬가지로 승용차용으로 개발된 연료전지시스템과 버스용에 적합한 고전압 인버터 및 모터 시스템을 이용해 비교적 짧은 기간 내에 연료전지버스 개발 가능하고, 고전압 인버터의 사용으로 인버터 및 모터의 에너지 전달 효율이 우수하며, 배터리를 사용해 하이브리드화 시킴으로써 회생제동에너지 흡수 및 동력보조 가능한 장점이 있다.

고전압 연료전지시스템 (두 켢의 저전압 연료전지시스템을 직렬 연결하여 고전압 구성) 과 고전압 인버터의 전압을 매칭시키기 위해, 연료전지 출력단에 DC/DC 컨버터가 필요할 수 있다 (같은 고전압을 사용한다 하더라도 인버터 전압을 연료전지시스템에 맞게 customize하지 않을 경우 일반적으로 전압 범위가 다름). 또한 연료전지 출력단에 위치한 DC/DC 컨버터의 연속출력특성에 의해 연료전지 출력파워가 제한을 받을 수 있으며, 이로 인해 특히 순항 최고속도 및 순항등판성능 면에서 불리하고, 연료전지 출력단에 위치한 DC/DC 컨버터에 의해 차량 효율이 저감되는 단점이 있다. 비교적 대용량의 배터리 시스템을 이용해 하이브리드화함으로써 별도의 대용량 DC/DC의 개발하거나 혹은 소용량 DC/DC와 배터리 시스템의 직병렬 조합을 개발하는 것이 요구됨. 역시 1 단 모터감속비 및 종감속비에 의해 차량 최고속도 및 최고 등판성능이 제한을 받는 단점이 있다.

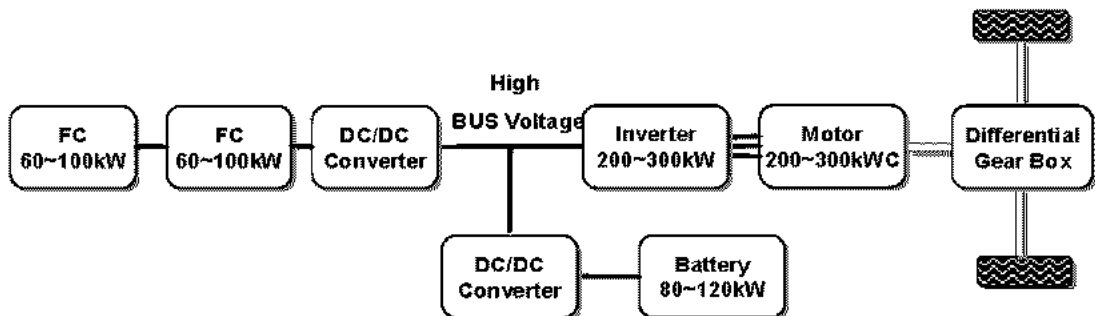


그림 5. 궤도차량용 300 kW 급 연료전지 동력원 구성안 4

다섯 번째 안은 60~100 kW 급 연료전지 스택 두 개를 병렬로 연결하고 DC/DC 컨버터를 하나로 단순화 시킨 구성이다. Battery 는 구성안 3, 4 에서와 같이 80~120 kW 급 하나를 사용하며, 그림 6에 시스템 구성안 개략도를 나타내었다.

승용차용으로 개발된 연료전지시스템과 버스용으로 既 개발된 저전압 인버터 및 모터 시스템을 이용해 비교적 짧은 기간내에 연료전지버스 개발 가능하며, 저전압 연료전지시스템(두 켓의 저전압 연료전지시스템을 병렬연결하여 저전압 구성)과 저전압 인버터를 DC/DC 컨버터 없이 매칭시킴으로써 연료전지시스템 출력에 유리하다. 이로 인해 순항 최고속도 및 순항 등판성능이 우수하고, 배터리를 사용해 하이브리드화 시킴으로써 회생제동에너지 흡수 및 동력보조 가능한 장점이 있다.

저전압 인버터의 사용으로 인해 인버터 및 모터의 에너지 전달 효율면에서 불리하며, 비교적 대용량의 배터리 시스템을 이용해 하이브리드화함으로써 별도의 대용량 DC/DC의 개발하거나 혹은 소용량 DC/DC와 배터리 시스템의 직병렬 조합 개발이 요구된다. 또한 각 연료전지시스템 출력단에 blocking 다이오드의 사용이 불가피하고, 1 단 모터감속비 및 풍감속비에 의해 차량 최고속도 및 최고 등판성능이 제한을 받는 단점이 있다.

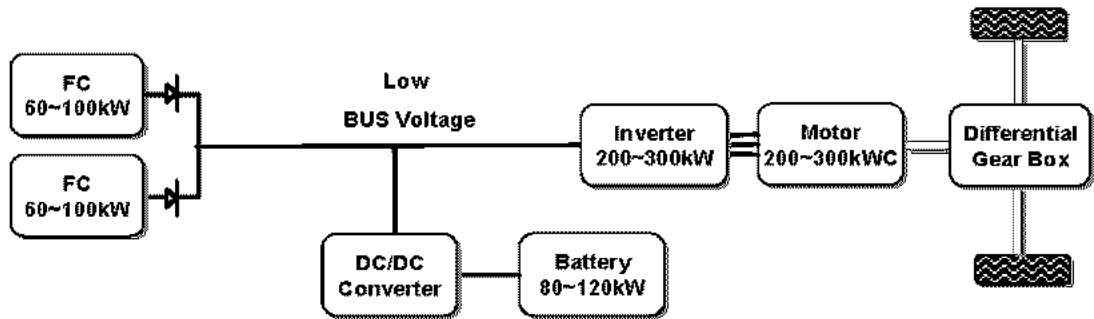


그림 6. 궤도차량용 300 kW 급 연료전지 동력원 구성안 5

마지막으로 그림 6의 구성안 4 와 유사하나 그림 7에 나타낸 것과 같이 60~100 kW 급 연료전지 스택 두 개를 병렬이 아닌 직렬로 연결하는 구성안이 있다. 버스단의 전압을 고전압화함과 동시에 이를 위한 별도의 DC/DC 컨버터를 배제함으로써 에너지 효율면에서 유리하고, 연료전지시스템 출력에 유리하므로 순항 최고속도 및 순항 등판성능이 우수하다. 역시 배터리를 사용해 하이브리드화 시킴으로써 회생제동에너지 흡수 및 동력보조 가능한 장점이 있다.

반면, 승용차용으로 개발된 연료전지시스템의 2 직렬 전압에 customize된 인버터 및 모터를 개발해야 하므로 개발기간 및 비용에 불리하고, 비교적 대용량의 배터리 시스템을 이용해 하이브리드화함으로써 별도의 대용량 DC/DC를 개발하거나 혹은 소용량 DC/DC와 배터리 시스템의 직병렬 조합을 개발하는 것이 요구된다. 각 연료전지시스템 출력단에 blocking 다이오드의 사용이 불가피하고 1단 모터감속비 및 풍감속비에 의해 차량 최고속도 및 최고 등판성능이 제한을 받는 단점이 있다.

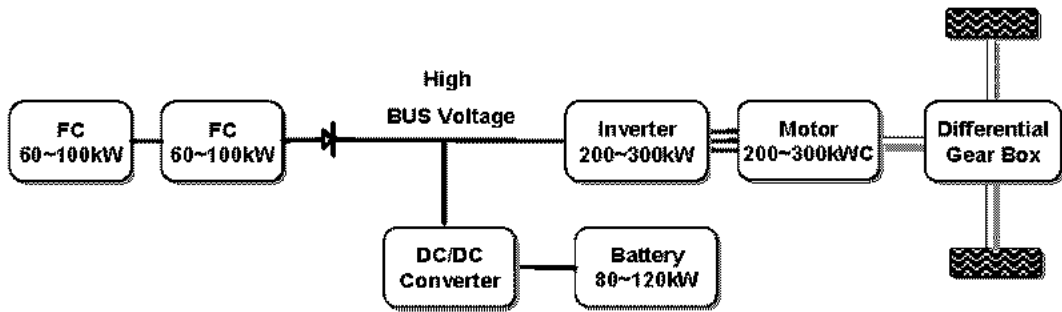


그림 7. 궤도차량용 300 kW 급 연료전지 동력원 구성안 6

마무리

연료전지 동력시스템 및 연료전지를 탑재한 자동차 (승용, 상용, 대중교통 등) 산업은 에너지 분야에 있어 21세기 신산업혁명에 비유될 정도로 사회적 파급효과가 크다. 연료전지 궤도차량을 구동하기 위해서는 연료전지와 연료공급계 외에도 대기 중의 공기를 연료전지로 공급해 주기 위한 blower, 일충전 주행거리를 높이기 위해 스택에서 반응에 사용되지 않고 나오는 수소를 재사용하기 위한 수소 재순환 장치, 연료전지에서 나오는 전압을 높이기 위한 DC/DC convert 등 전력 변환계, 스택에 물을 공급하기 위한 물관리계, 연료전지에서 나오는 전기로 구동하게 되는 모터가 필요하다. 연료전지와 배터리 또는 슈퍼캐퍼시터를 동력원으로 하는 하이브리드 궤도차량은 정속주행 시에는 연료전지에서 동력을 공급하고, 제동 시에 브레이크에 의해 방출되는 에너지는 배터리나 슈퍼캐퍼시터에 저장해 두었다가, 가속 시에 재사용하는 시스템으로서, 연료전지와 배터리 또는 슈퍼캐퍼시터를 이용하는 하이브리드 시스템이 비교적 효율적이다.

감사의 글

건설교통부의 국가교통핵심기술개발사업을 통하여 연구개발비를 지원받고 있으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 환경부, (1999), 대기환경보전법.
2. 환경부, (1999), 소음진동규제법.
3. 환경부, (1999), 자동차공해관련규정집.
4. EPA, (1998), CFR40, Parts 86 to 99.
5. Luxembourg, (1994), Ministère des Transports.