

수소에너지를 이용한 도시형 궤도차량

Track Rapid Transit with Hydrogen Energy

장 세 기*, 목 재 규**
Seky Chang, Jai Kyun Mok

High cost of crude oil imposes a heavy burden on vehicle users. Thus, much efforts are given to the development of alternative energies in advanced countries as well as our country. Among them, fuel cell is emerged as the most promising one for transportation. There is no harmful emission with hydrogen energy of which sources are abundant on the earth. The use of both fuel cell with self-generating system and electromanetic guidance system will be able to make urban track rapid transit operate even in the city areas of very limited infrastructure space with flexibility and on time accessibility. The high efficiency is also expected with clean environment and easy riding for both the old and the handicapped.

21세기 들어 과학기술문명은 인류가 삶을 이룬 그 어느 시기보다 빠르고 활기차게 진전되고 있다. 그럼에도 불구하고 에너지 문제는 아직도 인류가 해결해야 할 가장 근원적이면서 시급한 과제가 되고 있다. 현재 인류가 사용하고 있는 주 에너지는 동력에너지와 전기에너지, 난방용으로 쓰는 열에너지 등이다. 이러한 에너지들은 그 주된 에너지원이 석탄, 석유 등의 화석연료와 일부 원자력이 뒷받침하고 있다. 하지만 인류는 아직도 화석연료에 거의 전적으로 의존하고 있다고 해도 과언이 아니다. 그러나 문제는 이러한 화석연료의 사용이 무제한 보장되는 것이 아니며 이 에너지의 사용은 자연과파와 환경오염이라는 생태계 차원의 또 다른 문제를 발생시킨다는 사실이다.

Green Round에 의한 CO₂ 총량 규제, 선진국의 자동차 배기가스 규제 등의 표면 논리는 지구 환경 보호이지만, 선진국은 이러한 상황을 이미 확보된 첨단 환경친화 기술과 막강한 연구·개발 능력을 바탕으로 시장에서의 우월적 지위를 유지하려는 목적으로 활용하고 있다.

수소는 화학제품의 원료 및 화학공장의 공정가스로 널리 사용되고 있으며, 현재 인류가 당면하고 있는 환경문제 및 화석연료의 가격상승이나 고갈을 예상할 때 궁극적인 미래의 대체에너지원 또는 에너지 매체(Energy carrier)로 생각되고 있다. 이는 현재의 에너지시스템에 이용되는 화석연료가 사용 후 NO_x, SO_x, 분진 등과 같은 대기오염물을 배출하여 지구의 환경을 오염시키고 있을 뿐만 아니라 최근에는 화석연료 연소에 따라 배출되는 이산화탄소의 대기 중 농도증가로 지

* 한국철도기술연구원 책임연구원 정희원
** 한국철도기술연구원 선임연구원 정희원

구온난화의 우려를 가중시키고 있다. 또 다른 에너지원인 원자력은 그 사용과정이나 사용 후에도 방사능오염에 대한 문제점이 야기되고 있어, 이들 에너지원의 지속적인 사용이 지구 생태계를 파괴시켜 인류의 생존을 위협하고 있다는 우리의 목소리도 있음이 현실이다.

대도시 공기 오염 문제 심화 및 이산화탄소 총량규제와 같은 환경문제해결 및 석유에너지원 고갈에 따른 대체에너지원 또는 에너지원 다변화가 필요한 시점이며, 수소를 에너지원으로 하는 연료전지는 문제 해결의 가능성이 큰 에너지원으로 세계적으로 대규모의 투자와 연구를 집중하고 있다. 에너지 효율 제고를 통한 지구 온난화 방지, 대기 환경 보호, 대체 연료 사용, 기술의 다각적 활용 가능성 측면에서 각국 정부의 지원 하에 수송수단용 연료전지 시스템이 개발되고 있다.

도시형 궤도차량의 특징

연료전지 시스템에 의해 구동되는 대중교통수단의 개발은 10여 년 전부터 국외 여러 기관에서 연구 개발되어 왔고, 상용화를 위한 본격적인 시범운행도 추진되고 있으나, 국내에서는 최근 1~2년 사이에 개발을 시작하였다. 대도시와 주변 도시간의 연계를 위하여 접근성과 정시성이 우수한 수용인원 150명 수준의 도시형 궤도차량을 연료전지(PEMFC_Proton Exchange Membrane Fuel Cell)로 구동시키며 차체는 초저상으로 설계하여 장애자 및 노약자들도 쉽게 타고 내릴 수 있도록 하게 된다. 차량길이는 18미터 또는 24미터를 기본으로 한다. 각각의 고부바퀴는 독립적으로 조향되며 도로에 격자처리 된 자석을 기본으로하여 준비된 컴퓨터 프로그램에 의해 플랫폼에 정밀정차가 가능하게 된다. 플랫폼과 차량의 내부 바닥 높이를 같게함으로써 별도의 도움없이 휠체어 및 유모차 등의 승하차가 쉬워진다. 운전자의 조작에 의하여 정거장에 정차하지 않고 자동 운전에 의하여 정차가 이루어지므로 전체적인 표정속도도 일반 버스보다 빠르게된다.

전기공급에 의해서 운행되는 트램 또는 경전철과 달리 외부로부터 전기공급을 받기위한 설비가 필요하지 않고 또한 차량의 운행을 위하여 별도의 시설물을 설치하여 전용궤도를 만드는 대신 일반 도로 위에 격자처리를 하는 것으로 충분하다. 따라서 일반 주택 및 상가 등에 접근이 용이하고 시설비가 크게 줄어드는 장점이 있다.

연료전지 시스템 구성

연료전지시스템은 전력을 생성하는 연료전지 스택과 주변장치로 구성된다. 주변장치는 연료전지 스택이 전력을 생성하기 위해서 필요한 공기 및 연료 공급계, 물관리계와 열관리계, 그리고 주변장치에 전력을 공급하는 전원장치, 그리고 제어장치로 구성된다.

스택에서 필요로 하는 공기는 필터를 통하여 가변 제어되는 공기분로어에 의해서 가습기 및 스택에 공급된 후 스택의 생성수와 가습수를 회수하기 위해서 공기응축기를 거쳐 외부로 방출된다. 또한 연료인 수소는 400기압 이상의 수소탱크에 저장되며, 단단계 감압장치를 통하여 상압으로 스택에 공급된 후 수소측의 응축기를 통하여 물을 제거한 후 수소세순환장치를 통하여 재순환되는 구조로 되어있으며, 주기적으로 외부로 배출된다. 또한 물관리계는 고분자 전해질이 충분히

가습되도록 하는 가습장치, 물의 진기진도도를 수준치 이하로 관리하기 위한 이온계기기 및 냉각 라디에이터 및 물 순환 펌프로 구성된다. 또한 공기 및 수소측의 물을 회수하여 연료전지시스템의

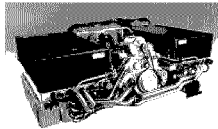


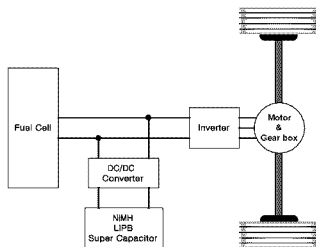
Figure 1. 대용량 연료전지 스택 (제작 Ballard)

물 균형을 이루기 위해서 열관리시스템이 필요하며, 펌프 및 라디에이터로 구성되며, 보통 차량의 다른 냉각시스템과 통합하여 사용된다. 연료전지 시스템의 물질, 열, 및 에너지 수지는 스택의 성능, 운전 조건에 의해서 결정되므로 연료전지 스택의 개발이 핵심적인 역할을 한다.

연료전지 하이브리드 동력구조의 특징

연료전지 하이브리드 궤도차량의 동력구조로는 다음과 같이 병렬형 구조의 3가지가 제시될 수 있으며, 각각의 특징 및 장단점을 비교하면 다음과 같다.

(1) 병렬형 타입 A

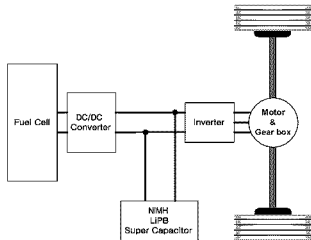


병렬형 타입 A는 DC/DC 컨버터가 전기에너지 저장장치와 DC Bus단 사이에 위치하며 전기 에너지 저장장치로는 NiMH(Nichel-Metal Hydride), LiPB(Lithium ion Polymer Battery), 수퍼 커패시터(혹은, 울트라 커패시터)가 사용 가능하다. 이러한 구조는 인버터 요구용량과 비교하여 연료 전지 용량이 충분할 때 주로 사용되는 구조이며, 연료전지 용량이 증가할수록 하이브리드 효과는 감소하게된다.

이러한 타입은 연료전지 용량에 비해 전기에너지 저장장치의 용량이 상대적으로 작으며, 능동 제어요소는 인버터와 DC/DC 컨버터가 된다.

이와 같은 시스템의 장점은 전기에너지 저장장치에 의한 능동적인 동력보조(Power Assist) 및 회생제동(Regenerative Braking)이 가능한 것이다. 반면에 단점으로는 전기에너지 저장장치의 충/방전시 항시 DC/DC 컨버터를 거치므로 에너지 손실이 발생한다는 것이다.

(2) 병렬형 타입 B



병렬형 타입 B는 DC/DC 컨버터가 연료전지와 인버터 사이에 위치하며, 전기에너지 저장장치로는 NiMH, LiPB, 수퍼 커패시터가 사용 가능하다. 또한, 전기에너지 저장장치에 의하여 수동적인 동력보조 및 회생제동을 수행하고, 인버터 용량에 비해 연료전지의 용량이 상대적으로 작을 때 효과적인 구조이다. 능동제어요소는 인버터와 DC/DC 컨버터가 된다.

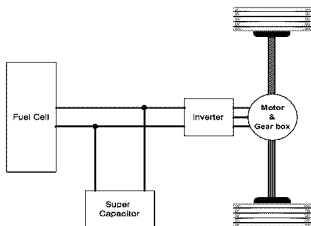
이와 같은 구조의 장점은 연료전지를 특정 고효율 영역에서 운전 가능하다는 것이다. 반면에 연료전지에서 생성된 파워가 항시 DC/DC 컨버터를 거치므로 에너지 손실이 발생하고, 비교적 큰 용량의 전기에너지 저장장치가 필요하며, SOC 유지를 위해 과도한 강제충전(연료전지 여유파워를 이용한 전기에너지 저장장치 충전)이 사용된다는 단점이 있다.

(3) 병렬형 타입 C

병렬형 타입 C는 연료전지와 수퍼커패시터가 병렬로 연결되어 있으며 DC/DC 컨버터를 사용

하지 않는다. 능동제어요소는 인버터이다.

이러한 구조의 장점은 DC/DC 컨버터를 사용하지 않음으로 인해, 에너지 효율이 우수한 것이



며, 연료전지의 전압변화를 통해, 슈퍼 캐패시터의 충방전이 자연스럽게 수행되므로 별도의 특별한 제어알고리즘을 필요로 하지 않는다. 또한, 슈퍼 캐패시터는 NiMH와 LiPB에 비해 전력밀도가 높으므로 순간적인 동력보조 및 회생제동 시 유리한 장점이 있다.

반면에, 시스템 초기 시동시, 연료전지 측과 슈퍼 캐패시터 측의 전압차가 클 경우 아크가 발생하며, 이를 해결하기 위한 별도의 장치가 필요하다. 또한, 회생제동 시간이 길어, 슈퍼 캐패시터의 전압 상한치에 도달했을 경우 회생제동 에너지를 더 이상 흡수하지 못하며, 슈퍼 캐패시터가 NiMH와 LiPB에 비해 동급과위대비 부피 및 가격에서 불리하다. 더불어 연료전지 시동 시 별도의 동력원(보조 배터리)을 필요로 하는 단점이 있다.

마무리

연료전지를 이용한 수송수단의 개발은 이미 선진국들 간의 기술경쟁 체제화로 발전하였으며 21세기의 에너지 및 환경문제를 해결할 수 있는 대안들 중의 유력한 수단으로 부상되었다. 현재 개발 중인 도시형 연료전지 캐드차량은 기능성 및 효율성 면에서 새로운 교통수단의 역할을 하게 될은 물론이고 환경 및 에너지 이용 측면에서도 다른 교통수단보다 앞서 나가면서 혼합하고 공해로 나날이 심각해지는 대도시의 교통문제를 해결하는데 선도적인 위치를 선점하게 되리라 기대한다.

감사의 글

건설교통부의 국가교통핵심기술개발사업을 통하여 연구개발비를 지원받고 있으며 이에 감사드립니다.