

연료전지/축전지 복합 동력원 연계 성능 해석

이봉도^o, 이원용, 한수빈, 신동열
한국에너지기술연구소

Performance Analysis of fuelcell/Battery Hybrid vehicles

Bong-Do Lee, Won-Yong Lee, Soo-Bin Han, Dong-Ryul Shin
Korea Institute of Energy Research.

Abstract - Fuel cell systems offer high energy efficiencies for transportation application. In addition, they can use alcohols and alternative fuels as the fuel, while producing little or no noxious emissions. Fuel cell-powered energy source should be competitive in performance characteristics and in capital and maintenance costs with internal combustion engine systems.

From computer simulation program, battery and fuel cell energy output and total power profile, motor power, battery energy output, fuel cell energy output. It simulates the performance of fuelcell/battery powered energy source operation over any user inputted transit route cycle, and provides performance criteria through user specifications for preliminary design consideration.

1. 서 론

연료전지 시스템은 기존의 동력장치에 비해 고효율이며 공해물질을 거의 배출하지 않는 장점이 있다. 이러한 장점을 수송용 기계의 동력원에 적용시키기 위한 연구가 선진 각국에서 활발히 진행되고 있다. 이러한 동력원을 수송 수단에 적용시키기 위하여 연료전지/축전지 복합 구동 동력원의 성능 해석을 위한 프로그램 개발을 위하여 축전지 및 연료전지에 대한 수학적 모델을 정립하여 각 요소의 입출력의 관계를 해석하였다.

본 연구에서는 연료전지와 축전지 복합 구동 동력원의 해석을 위한 부하 분담 특성을 분석하기 위하여 연료전지와 축전지가 병렬로 연계된 동력원 시스템을 시뮬레이션 소프트웨어인 PSPICE를 이용하여 구현하여 성능 해석을 수행하였다. 부스터를 이용하여 전압변동율을 제어하도록 구성된 시뮬레이션 회로를 기본으로 하여 연료전지/축전지 하이브리드 동력원에 대한 부하 분담 특성을 검토하였다. 부하 분담 특성은 순간적인 동력 증가에 따른 변화에서는 축전지의 전류가 상승하여 축전지가 소요 동력의 많은 부분을 담당하고 있으며, 정상 상태에서는 연료전지가 대부분의 동력을 담당하고 있음을 알 수 있었다.

본 연구에서 제안된 연료전지/축전지 복합 구동 동력원에 의한 수송용 동력 시스템을 기반으로 하고, 신뢰성 있는 동력원 연계 제어시스템과 전력 변환 장치를 장착하면 짧은 기간내에 고효율이며 공해가 거의 없는 차세대 수송 기관의 실용화를 달성하는데 기여할 수 있을 것이다.

2. 본 론

2.1 연료전지/축전지 연계 제어 동력시스템 구성

연료전지 축전지 연계 동력시스템에서 연료전지에 공급되는 수소의 증가(혹은 감소)는 외부 부하의 변동에 의하여 부하가 요구하는 동력이 점진적으로 증가(감소)하는 한 외부 부하에서 필요한 동력을 공급할 충분한 연료가 공급되어진다. 그러나 외부 부하가 갑자기 변화할 때 부족되는 수소는 연료전지에 빠르게 공급되어 질 수 없다. 이것은 출력전압의 감소를 야기하고 외부 부하에 충분한 동력의 공급을 불가능하게 한다. 이러한 시스템에서는 연료전지의 무리한 사용을 억제하고 외부부하에 동력을 공급하기 위한 연료전지 보호용 보조 전지를 채용해야 한다.

본 연구에 이용할 시스템은 기본적으로 출력 전류 회로 내에 삽입된 DC/DC 컨버터와 직렬로 구성되어 있고, 병렬로 보조 전지가 연결되어 있다. 시스템 내의 연료전지는 부하치가 갑자기 증가할 때를 제외하고 모든 시간에 일정한 전력량을 출력하도록 구성되어 있다. 부하치가 갑자기 증가할 때에 연료전지에 병렬로 연결된 보조 전지는 자신에게 저장되어 있던 동력을 공급한다. 부하치가 안정하게 되면 보조 전지는 동력의 공급을 중단한다. 즉 보조 전지의 출력의 양이 없게 되고, 동력은 연료전지에 의하여 독점적으로 공급되어진다.

일반적인 복합 연료전지 시스템은 외부 부하의 값이 연료전지의 출력보다 클 때만이 효과적이다. 즉 외부 부하가 연료전지 시스템의 출력보다 큰 값일 때에 보조 전지에 저장된 보조 동력을 이용하여 다중적으로 동력을 공급한다. 그러나 시스템에서 사용된 외부 부하의 값이 연료전지의 출력 값보다 적으면 문제점을 야기한다. 이것은 DC/DC 변환기를 사용하는 연료전지의 출력은 시스템 내에서 항상 일정한 값을 유지해야 한다. 그런데 외부 부하의 값이 출력보다 적으면 연료전지 출력과 외부 부하 사이의 차이에 해당하는 약간의 동력의 소비를 필요로 한다. 일반적으로 히터와 같은 외부 부하는 이러한 동력을 소모할 수 있도록 시스템 내부에 장치되어 있지만, 연료전지 시스템에서 발전된 동력의 양이 외부 부하에서 필요로 하는 동력의 양보다 크면 에너지 효율이 떨어지는 문제를 야기한다.

[그림 1]은 연료전지와 축전지를 동력원으로 하는 시스템에 적용할 연료전지/축전지 복합 구동 동력원의 동력 시스템 제어 계통도를 보여주고 있다. 제어장치는 축전지의 잉여저장량과 부하명령에 비례하는 현재 전력 소비량으로부터 메탄을 연료 공급 조절 밸브와 공기 조절 밸브를 조절하여 연료전지의 출력을 조절하고 부하를 구동하는데 필요한 전력을 제공하도록 해야한다. 즉 연료전지에 공급되어야 하는 연료량을 계산하여 연료제어부에 메탄을 공급 조절 신호를 보낸다. 연료전지 제어

장치는 DC/DC 컨버터를 조절하여 연료전지의 출력 전력을 제어한다. 그러나 제어 시스템에서는 다음의 사항이 준수되도록 제어하여야 한다. 첫째, 연료전지는 부하에 따라 전동기에 전력을 공급하는 가변 전원 공급 장치로 작용하지만, 점진적이 아닌 짧은 시간내에 급격히 부하가 증가하는 변화가 발생 할 경우에는 축전지가 연료전지의 모자라는 출력을 보상하는데 사용되어야 하고, 부하가 약하거나 감소하는 동안에는 연료전지로부터 전력을 충전받도록 하여야 한다. 둘째, 연료전지의 출력제어는 가능한 고효율(30-40%)을 유지할 수 있도록 동작되어야 하고, 축전지는 과방전에 의한 수명 저하가 발생되지 않도록 동작되어야 한다.

2.2 동력원 부하 제어

부하 제어를 위한 연료전지/축전지 복합 구동 동력원에 대한 시스템을 설계하였다. 이 복합 구동 동력원은 연료전지와 축전지의 부하 분담 특성을 파악하는 것이 가장 중요한 핵심 기술이다. 이미 언급한 바와 같이 연료전지는 점진적으로 변화하는 부하에는 충분한 추종 능력이 있지만, 급격한 부하 변화를 추종하는 데는 매우 취약하고, 또한 효율 및 수명 등의 여러 성능 저하를 야기할 수 있다. 따라서 외부 부하의 변동이 심할 때에도 충분한 성능을 발휘할 수 있도록 하기 위한 제어 시스템의 구성 및 이를 보조할 소프트웨어의 구성이 필요하다. 연료전지/축전지 복합 동력원 시스템에서 부하를 제어하기 위한 연료전지의 출력은 수송 수단의 운행시에 일어나는 운행 경로의 변화량과 입력되는 가속 신호의 변화량, 축전지 내부의 충전 상태의 변화량 등에 따라 변화해야 한다. 연료전지 출력 제어 장치는 축전지 충전 상태에 의한 출력 허용 범위를 결정하고, 그 범위 내에서 잔류 충전량이 남아있는 한 연료전지가 동력을 공급하는 것을 제어한다. 연료전지와 축전지의 부하 제어를 위한 동력원 시스템 소프트웨어의 주요 구성을 크게 구분하면 연료전지에 의한 부하제어 과정과 축전지에 의한 부하제어 과정 등으로 구성되어 있다.

연료전지의 부하제어 과정은 연료전지와 축전지에서 공급하는 전류를 감지한 후에, 부하 전류의 변화가 생기면 변화량 만큼의 동력을 연료전지가 감당하도록 하기 위하여 DC/DC 컨버터의 출력을 조절한다. 이때 연료전지에서 부하를 전부 감당하지 못하면 축전지의 방전 전류가 생기게 되는데, 이 축전지의 방전 전류를 감지하여 방전 전류가 없어질 때까지 컨버터의 출력을 증가시킨다. 축전지는 자체의 온도가 높으면 출력 전압은 줄어든다. 온도가 높을수록 방전량이 많아진 것을 의미한다. 즉 현재 온도가 처음 설정된 온도보다 낮을 때는 축전지는 방전하지 않는 상태이고 연료전지가 부하를 담당하고 있다. 반대로 현재 온도가 처음 설정된 온도보다 높을 때는 축전지의 온도가 상승한 상태라써 현재 방전 중임을 의미한다. 따라서 축전지의 레퍼런스 전압을 DC/DC 컨버터에 입력시켜 연료전지의 출력을 증가시키도록 한다. 또한 축전지의 온도가 처음 설정된 온도와 거의 변화가 없을 때는 축전지의 방전량의 변화가 거의 없다고 보여지므로 온도 변화 감시를 계속한다. 연료전지에 의한 축전지의 충전 제어는 연료전지가 저부하 상태일 때 작동을 시작하고, 축전지의 충전 상태는 프래그의 상태에 따라 판단되며, 이에 따라 연료전지에서 얼마만큼의 동력을 공급하여야 하는가를 결정한다.

2.3 연료전지/축전지 동특성 해석

연료전지는 부하에 따라 전류가 변하면 전류에 반비례하여 전압이 감소하는 전류 대 전압 특성을 가지고 있다. 따라서 수시로 변하는 부하에 따라 전압이 바뀌게 된다. 따라서 축전지와 모터에서 필요로 하는 일정 전압을 유지하기 위해서는 전압 제어 장치가 필요하며 이를

위해서 본 연구에서는 연료전지와 축전지 사이에 부스터를 설치하였다.

연료전지와 축전지의 동특성 해석을 위해서 부스터가 없는 경우와 부스터가 있는 경우로 나누어서 고찰하였다. 해석을 위한 프로그램은 시뮬레이션 소프트웨어인 PSPICE에 의하여 구현하였다. [그림 2]는 부스터가 없을 때의 부하 분담 해석 결과라써 연료전지와 축전지의 상호 연계된 부하 분담 특성을 보여 준다. 여기에 따르면 순간적인 동력 증가에 따른 변화에서는 축전지의 전류가 상승하여 축전지가 소요 동력의 많은 부분을 담당하고 있으며, 정상 상태에서는 연료전지가 대부분의 동력을 담당하고 있음을 알 수 있다. 즉 부스터 제어가 없을 때는 외부 부하가 변화한 지 수 msec의 지연 시간을 가지고 축전지 전류가 급격히 증가하면서 축전지 전압이 감소하기 시작한다. 즉, 급격한 외부 부하에 대응하여 연료전지에서 공급하는 동력의 부하 추종성이 느리고, 축전지는 빠른 부하 추종성으로 인하여 부족한 동력을 즉시 공급하고 있음을 알 수 있다. 이때부터 연료전지의 전류도 서서히 증가하여 부하에 에너지를 공급하지만, 그림에서 나타난 바와 같이 상당히 점진적으로 진행되고 있으며, 연료전지 전압의 값도 서서히 감소함을 알 수 있다. 또한 이 결과에 의하면 축전지 전압 및 전류의 값이 일정 시간이 지난 후에도 정상 상태로 복원되지 않고 발산하는 형태가 됨을 알 수 있다. 따라서 연료전지와 축전지 하이브리드 동력원의 동특성을 검토한 결과는 두 동력원의 병렬 연결에 제어용 부스터가 반드시 필요함을 알 수 있다.

[그림 3]은 제어용 부스터가 결합된 연료전지/축전지 동력원 성능 특성 해석용 프로그램 구성도이다. 또한 연료전지에서 생산되는 출력 전압의 전압변동을 조절하여 축전지와 연계하기 위한 부스터 특성 회로를 별도로 구현하였다. 이것은 부스터 스위칭 회로와 결합하여 연료전지의 전압 변동을 제어하는데 이용된다. 이렇게 구성된 시뮬레이션 회로를 기본으로 하여 연료전지/축전지 하이브리드 동력원에 대한 부하 분담 특성을 검토하였다.

시뮬레이션 해석은 부스터의 비례 적분 제어시스템을 이용하여 구현하였다. 회로의 특성상 최적의 결과를 도출하기 위한 이득값을 구하기 위해 부스터 파라미터인 비례 계수와 적분계수를 변화시켜 응답 특성을 검토하였으며, 연료전지와 축전지의 전압 및 전류 변화를 고찰하였고, 부스터 출력 전압의 변화를 고찰하였다. [그림 4]는 연료전지와 축전지를 병렬로 연결하고 부스터를 설치한 회로의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 즉 부하 변화가 발생한 후 0.05초 정도의 지연시간을 가지는 부하 추종성을 가지며, 약 0.2초 후에는 부스터에 의한 정상 출력이 얻어지고 있음을 알 수 있다.

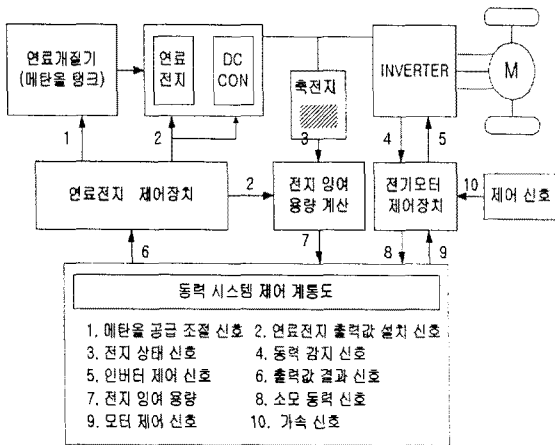
3. 결 론

연료전지 시스템은 에너지 변환효율이 높고, 천연가스 및 알코올과 같은 다양한 대체 연료를 사용할 수 있으며, 전기화학적 반응에 의해 발전하기 때문에 공해 물질을 거의 배출하지 않는 장점이 있어 도심의 쾌적한 환경을 위한 최적의 수송용 동력기이다.

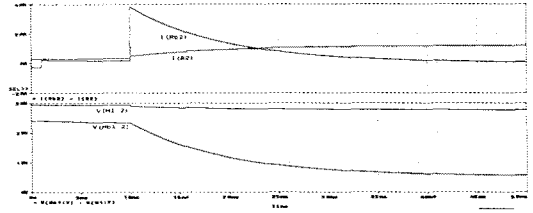
본 연구는 연료전지를 수송용 기관 주동력원으로 사용하고, 축전지를 보조 동력원으로 사용하는 하이브리드 동력원의 성능을 검토하기 위한 것으로써, 연료전지와 축전지의 수학적 모델을 기초로 하여, 하이브리드 동력원의 성능 해석을 위한 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 통하여 수송용 기관의 동력원으로써 연료전지와 축전지의 동특성을 분석하였으며, 부하 변화에 대응하는 동력을 연료전지와 축전지가 적절히 배분되어 동력원에 공급함으로써 양호한 에너지 분담효과를 가져오는 것을 확인할 수 있었다.

[참고 문헌]

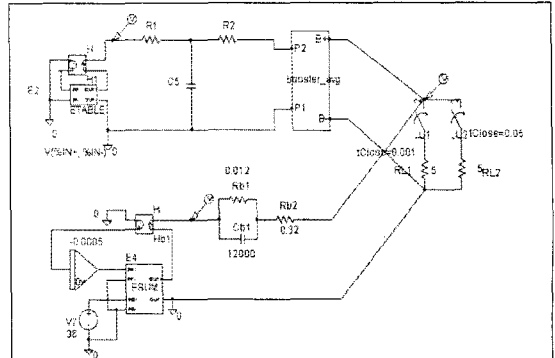
- [1] R. Landgrebe, Zen-ichiro Takehara, Batteries and Fuel Cells for stationary and Electric Vehicle Applications, The electrochemical society, Inc. 1993.
- [2] P. Lehman, and F. Barbir, Design and performance of a proto-type fuel cell powered vehicle, Fuel Cell Seminar Program and Abstracts, courtesy associates, inc. pp 567, 1996
- [3] E. Grecksch, A. Hammerschmidt, and T. Moser, PEM fuel cells development and commercialisation, Commercializing fuel cell vehicles list of attendees, intertech conferences, 1996
- [4] B. E. Dickinson, T. R. Lalk, and D. G. Hervey, Characterization of a fuel cell/battery hybrid system for electric vehicle(EV) applications, Electric vehicle power system Hybrids Batteries Fuel cells, pp 121, Aug., 1993
- [5] 신동열, 이 원용., 이봉도 '연료전지 자동차 개념 설계 및 타당성 연구', KIER-981328, 1998



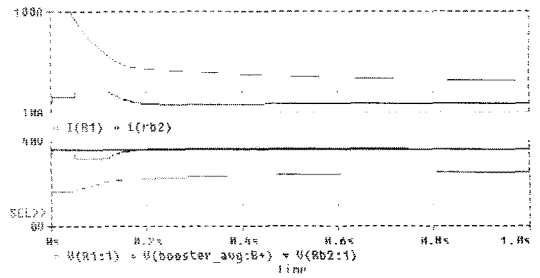
[그림 1] 연료전지/축전지 동력 시스템의 제어 계통도



[그림 2] 연료전지/축전지 부하 분담 해석 결과



[그림 3] 연료전지/축전지 동특성 해석



[그림 4] 연료전지/축전지 동특성 해석 결과