

연료전지/축전지 하이브리드 자동차의 구동 성능 해석

이 봉 도°, 이 원 용, 신 동 열
한국에너지기술연구소

Performance Analysis of Fuelcell/Battery Hybrid Vehicles

Bong-Do Lee, Won-Yong Lee, 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 vehicles should be competitive in performance characteristics and in capital and maintenance costs with internal combustion engine vehicles. The objective of the present study is to design a fuelcell/battery powered vehicles to analyze technical feasibility.

1. 서 론

연료전지 시스템은 기존의 동력장치에 비해 고효율이며 공해물질은 거의 배출하지 않는 장점이 있다. 이러한 장점을 자동차에 적용시키기 위한 연구가 선진 각국에서 활발히 진행되고 있다. 연료전지 자동차를 설계하기 위해서는 자동차의 개념 설계와 설계된 자동차의 기술적인 검토를 위한 전산 해석 및 제작 실험 등이 필요하다. 여기에서 연료전지 자동차의 성능해석 프로그램은 설계된 자동차의 최종 성능을 검증하고 보완 설계를 할 때에 시행착오 없이 최적의 부품 구조, 용량 등을 결정하기 위해서 유용하게 사용될 수 있다. 본 연구에서는 연료전지/축전지 복합구동 자동차 해석을 위한 간이화된 전산 프로그램을 개발하여 개념 설계된¹ 자동차에 적용하여 성능해석을 수행하였다.

2. 본 론

2.1 연료전지 자동차 해석

연료전지 자동차에서 기본적으로 이용되는 동력은 전동기에서 발생하는 토크으로써 연료전지 혹은 축전지에서 공급하는 전류량에 따른다. 전동기의 속도는 입력 전압과 선형적 관계에 있다. 축전지는 입출력 변수가 모두 전류의 형태이다. 축전지의 충방전 특성은 축전지 용량과 시간의 함수로 주어진다. 연료전지는 연료개질기에서 공급하는 개질 수소를 이용하거나 외부 공급용 순수수소를 이용한다. 공급 수소는 연료전지 스택내에서 산소와 반응하여 전류와 열을 생성하고 미반응가스는 회수되어 다시 이용된다. 이러한 기본적인 동작원리를 기초로 하여 각 부품의 수학적 모델링 및 연료전지 자동차의 성능을 해석할 수 있는 프로그램을 작성하였다. 수학적 모델링은 [그림 1]의 입력과 출력 관계에서 출력측의 요구

사항을 먼저 정립한 후에 입력측의 조건을 만족시키도록 전동기, 축전지, 연료전지, 연료개질기의 순서로 모델링을 진행하였다^{2,3}.

2.2 주요 구성품 모델링

자동차의 구동에 필요한 동력은 뉴우톤의 운동법칙에 의하여 다음 식으로 간단히 나타낼 수 있다.

$$FT = FRL + XMASS(J) \times A \quad (1)$$

여기서 도로부하 FRL 은 운전시 도로 부하로써 다음과 같다.

$$FRL = (f + \frac{G}{100}) \times (WC + WPL) + \rho \times CD \times A \times \frac{V^2}{2} \quad (2)$$

자동차의 유효 중량은 다음 식과 같다.

$$XMASS(J) = \frac{1}{g} \times (WC + WPL + \frac{1}{R^2} \times [IOMEGA + RD^2 \times IDL + (RD \times RT(J))^2 \times IM]) \quad (3)$$

자동차의 구동력을 이용하여 모터에서 필요한 속도와 동력을 구하면 다음과 같다.

$$NMO = RT(J) \times NTO \quad (4)$$

$$TMO = CUT \times \frac{TTO}{RT(J)} + TTF(J) \times \frac{NMO}{NMO+1} + CTV(J) \times NMO \quad (5)$$

전동기에서 동력과 전기적 특성은 다음 식과 같이 나타내진다.

$$PL = IA^2 \times RA + VBR \times IA + KV \times NMO^2 \quad (6)$$

$$VA = \frac{(PMO + PL)}{IA} \quad (7)$$

$$IA = \frac{(PMO + PL)}{VB} \quad (8)$$

여기서 PMO 는 전동기 동력이고, VA , IA 는 각각 전동기 전압과 전류이다.

연료전지/축전지 복합 구동 자동차에서 축전지의 특성식은 다음과 같다.

$$VB = VB10(S) - IB1 \times RB1(S) \quad (9)$$

$$PBO = \frac{VA \times IA}{UCA} + \frac{PACCI}{UCV} + PACC2 + \frac{PFL}{UCF} \quad (10)$$

$$PBI = PBO - PBfc \times CEFF \quad (11)$$

$$IB1 = \frac{VB10 - \sqrt{VB10^2 - 4 \times RB1 \times PBI}}{2 \times RB1} \quad (12)$$

$$S = SO - \int_0^T \frac{IB1(t) dt}{C} \quad (13)$$

$$C = C0 \times \left(\frac{IBAR}{I0} \right)^a \times f \left(\frac{IBAR}{IBMAX} \right) \quad (14)$$

여기서 VB 는 배터리 전압, PBO 는 배터리 출력, PBI 은 배터리 공급 동력, $IB1$ 은 배터리 전류, S 는 배터리 충전 상태, C 는 배터리 용량이다.

2.3 성능 해석

자동차 성능 해석을 위하여 외부의 부하조건인 자동차의 속도와 도로의 구배조건 등이 입력되었으며 출력으로는 자동차가 요구되는 동력과 각 부품에서 담당해야 할 부하 등을 동력, 전압, 전류 등을 계산하도록 하였다. 이 연료전지 자동차 성능 해석 프로그램은 버스가 도심의 짧은 구간을 운행할 때의 출발에서 정지할 때까지의 결과를 해석한 것이다. 해석을 위해 사용된 버스의 제원은 아래 <표>와 같다.

항 목	제 원
전비중량(비품 등)	WC = 9072 kg
자동차 유효하중	WPL = 1700 kg
자동차 앞면적	A = 5.81 m ²
크기(L x W x H)	8.4x2.39x2.67m
접근각 및 출발각	11 deg
지면과의 간격	0.25 m
끌림계수	0.36
회전반경	9.15 m
착석인원(입석인원)	20(15)명
공칭 동력 공급 전압	VBO=216 V
전지수	NCELL = 108
배터리 용량	C0 = 184.0 Ah
정 전류	I0 = 37 A
충전 초기 상태	S0 = 0.7
연료전지 설계 동력	TFCP = 50000.0 W
연료전지 셀당 면적	CA = 2000.0 cm ²
연료전지 셀 수	CELLNO = 176.0
표준 공기밀도	1.164kg/m ³
모터회전반경	0.433m
최종 운전비율	6.83
연료전지 효율	0.55
배터리 효율	0.70
초퍼 효율	0.95
컨트롤러 효율	0.85
기어 효율	0.90

[그림 2]는 성능 해석 프로그램 흐름도이고, [그림 3]은 연료전지 자동차의 기본 운전 방식으로써 대표값인 속도 상승 단계, 정상 운행 단계, 감속 단계로 구분된다. [그림 4]와 [그림 5]는 자동차의 운행 속도에 따른 배터리의 출력 특성과 구동 모터의 출력 특성을 보인 것이다. [그림 6]은 속도 변화에 따른 자동차의 요구 동력 변화를 보인 것으로써, 자동차의 속도 45km/h까지는 연료전지 단독에 의한 운행이 가능함을 알 수 있고, 속도 100km/h에서 270HP의 동력이 요구되는데, 이 결과는 일반 버스에서 요구하는 동력 수준과 거의 일치함을 알 수 있었다.

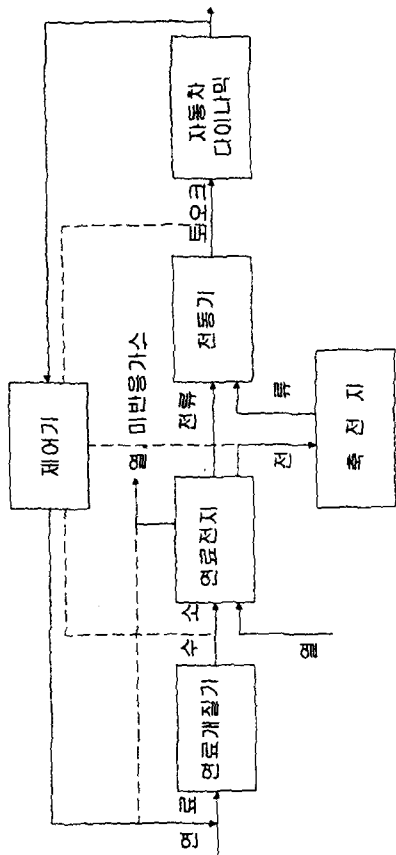
3. 결 론

자동차에 연료전지를 적용할 경우 기존의 내연기관에 비하여 고효율이고, 다양한 대체 연료를 사용할 수 있으며, 공해와 온실가스를 대폭 줄일 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 연료전지/축전지를 복합 구동원으로 한 자동차를 개념 설계하여 이에 대한 성능 해석을 수행하였다. 축전지는 외부 전원의 공급없이 연료전지의 출력만으로 운행중에 충전되도록 하였으며, 순간적인 동력의 변화를 담당하도록 하였다. 정격 부하시에는 연료전지가 모든 부하를 공급하도록 하였다.

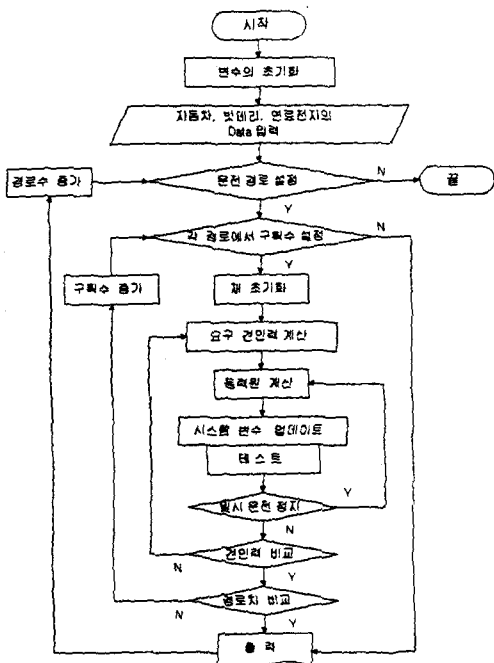
자동차 부하조건에 따른 자동차의 요구동력과 이에 따른 전동기, 축전기, 연료전지에 대한 입출력 성능을 산출하여 전체적인 자동차의 성능을 분석하였다. 주어진 운전 범위 내에서 설계된 전체적인 시스템이 정상적으로 작동되는 것을 검증할 수 있었으며, 이 프로그램이 연료전지 자동차 설계에 유용하게 사용될 수 있음을 확인할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이봉도, 이원용, 신동열, "인산형 연료전지/축전지 복합 구동 자동차 개념 설계", 연료전지연구회 '96 학술 발표회 논문집, 3권 1호, pp 39-41.
- [2] P.Frantzeskakis, T.Krepec, and S.Sanker, "Specific Analysis on Electric Vehicle Performance Characteristics with the Aid of Optimization Techniques", Advancements in Electric and Hybrid Electric Vehicle Technology, No.940336, pp47, 1994.
- [3] Scott A. Munns, "Computer Simulation of Powertrain Components with Methodologies for Generalized system Modeling, Univ. Wisconsin-Madison, 1996.

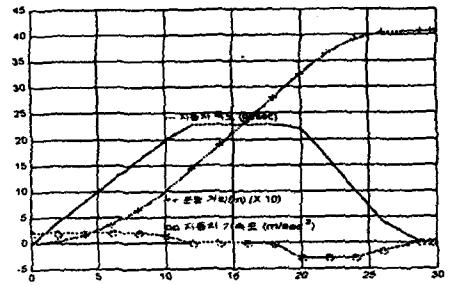


[그림 1] 연료전지 자동차 시스템 입출력 관계

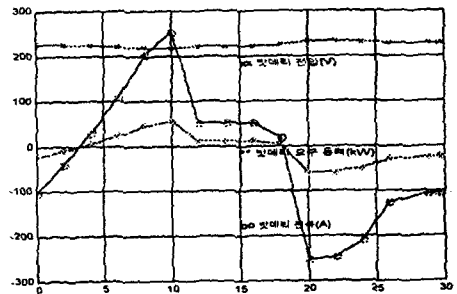


연료전지 자동차 성능 해석용 프로그램 흐름도

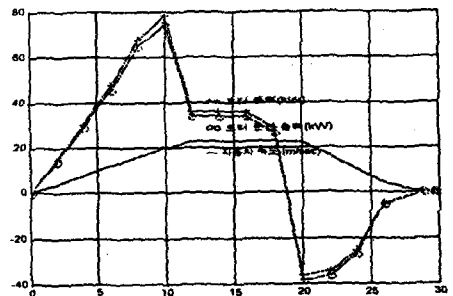
[그림 2] 프로그램 흐름도



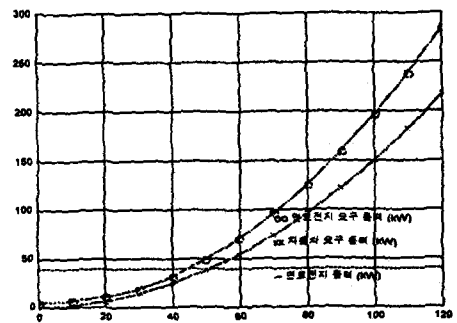
[그림 3] 자동차 기본 운전 방식



[그림 4] 배터리 출력 특성



[그림 5] 모터 출력 특성



[그림 6] 자동차 요구 동력 특성