

# 등가 연료 소모량을 이용한 연료전지 자동차의 하이브리화에 대한 평가

정 춘 화<sup>1)</sup> · 신 창 우<sup>2)</sup> · 박 영 일<sup>3)</sup> · 차 석 원<sup>\*2)</sup>

서울대학교 기계항공공학부/정밀기계설계공동연구소<sup>1)</sup> · 서울대학교 기계항공공학부<sup>2)</sup> ·  
서울과학기술대학교 기계설계자동화 공학부<sup>3)</sup>

## Evaluation of Hybridization in FCVs Based on Equivalent Fuel Consumption

Chunhua Zheng<sup>1)</sup> · Chang Woo Shin<sup>2)</sup> · Yeong-il Park<sup>3)</sup> · Suk Won Cha<sup>\*2)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Mechanical and Aerospace Engineering / SNU-IAMD, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

<sup>2)</sup>Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

<sup>3)</sup>School of Mechanical Design and Automation Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

(Received 11 March 2011 / Accepted 22 March 2011)

**Abstract** : Operating points of a fuel cell system (FCS) can be shifted to its high-efficiency region by hybridization in a fuel cell hybrid vehicle (FCHV), so the hydrogen can be saved. In this paper, the hydrogen consumption of an FCHV is compared to that of a fuel cell vehicle (FCV). A power management strategy is applied to the FCHV and the related simulation is carried out. The concept of equivalent hydrogen consumption is introduced in order to consider the effect of the difference between initial and final battery SOC on the total hydrogen consumption.

**Key words** : Fuel cell hybrid vehicle(연료전지 하이브리드 자동차), Power management strategy(동력관리 전략), Equivalent hydrogen consumption(등가 수소 소모량), Fuel cell vehicle(연료전지 자동차)

### 1. 서 론

에너지 자원과 환경 문제가 이슈가 됨에 따라 연료전지 자동차와 같은 그린 에너지 차량들이 점차 주목을 받기 시작하였다. 연료전지 하이브리드 차량은 동력원인 연료전지 시스템을 하이브리드화 함으로써 작동점들을 고효율 영역으로 옮길 수 있고 따라서 수소 소모량을 감소시킬 수 있다. 연료전지 하이브리드 차량의 수소 소모량은 또한 주행 전략의 영향을 직접적으로 받는다. 선행적으로 이 방면의 연구<sup>1-4)</sup>가 많이 진행되었고 본 연구에서는 물 베이스의 전략을 적용하였다. 주행 전략을 적용하였을 때 시뮬레이션 결과를 보면 배터리 SOC의 초기 값과 최종 값이 다르게 된다. 그러나 순수 연료전지

자동차와 연료 소모량을 비교하기 위해서는 SOC의 초기 값과 최종 값이 같아야 한다.<sup>5)</sup> 그러므로 시뮬레이션에서 얻은 연료전지 하이브리드 자동차의 수소 소모량만으로는 적당한 비교를 할 수 없다. 배터리 SOC가 변하는 영향을 고려하기 위해 본 연구에서는 등가 수소 소모량의 개념을 도입하여 순수 연료전지 자동차와의 수소 소모량을 비교하였으며 결과적으로 연료전지 하이브리드 차량은 연료전지 차량에 비해 수소 소모가 적었다.

### 2. 연료전지 하이브리드 자동차의 주행전략

연료전지 하이브리드 자동차는 보조 동력원을 사용함으로써 주동력원인 연료전지 시스템이 고효율 영역에서만 작동할 수 있도록 한다. Fig. 1과 Fig. 2는 한 예시를 보여주고 있는데 Fig. 1에서와 같이 넓은

\*Corresponding author, E-mail: swcha@snu.ac.kr

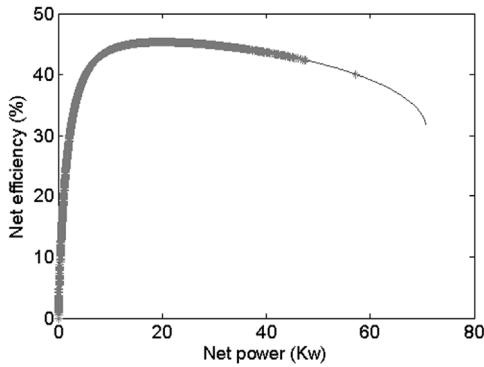


Fig. 1 Operating points of an FCV

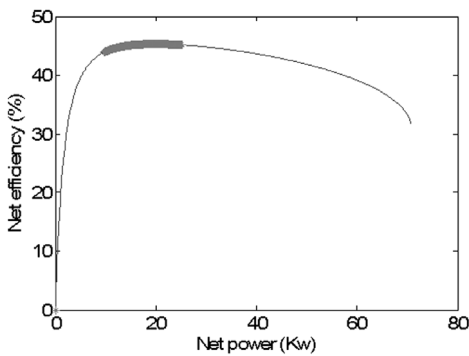


Fig. 2 Operating points of an FCHV

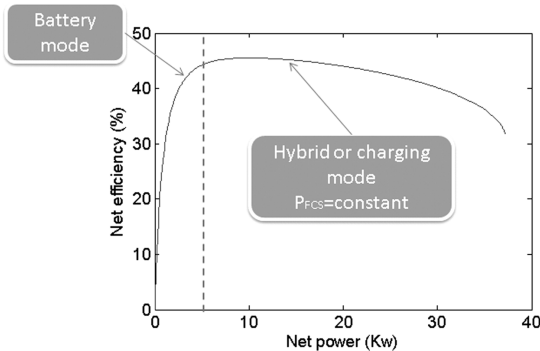


Fig. 3 Power management strategy in an FCHV

영역에 분포되었던 연료전지 시스템의 작동점들이 하이브리드화를 거쳐 Fig. 2와 같이 고효율 영역에만 분포되었다.

본 연구에서는 연료전지 하이브리드 자동차에 물 베이스 전략을 적용하였는데 이 전략은 연료전지 시스템의 효율 특성에 근거하여 구축하였다. Fig. 3은 본 연구에 사용된 연료전지 시스템의 특성과 전

략을 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 연료전지 시스템은 저파워 영역에서 효율이 낮으므로 이 영역에서는 배터리를 사용한다. 저파워 영역을 지나면 연료전지 시스템의 효율이 높은 영역인데 이 영역에서는 연료전지 시스템이 항상 일정한 파워를 공급함으로써 연료전지 시스템과 배터리의 하이브리드 모드 또는 연료전지 시스템의 파워를 이용하여 배터리를 충전하는 충전 모드로 작동한다.

### 3. FCHV와 FCV의 수소 소모량의 비교

이 부분에서는 연료전지 자동차에서 하이브리드화를 통하여 얼마만큼의 수소를 절약할 수 있는지를 알아보기 위하여 두 가지 주행사이클에서 각각의 수소 소모를 비교하였다. 비교에서 동력원을 제외한 나머지 부분은 동일하다고 가정하였으며 차량의 총 질량도 같다고 가정하였다. 또한 연료전지 하이브리드 차량은 배터리를 보조동력원으로 사용하였으며 앞 바퀴 축에서만 회생제동이 가능하다고 가정하였다. Table 1<sup>6)</sup>은 비교에 사용된 차량의 데이터를 보여주고 있다.

Table 2는 두 차량의 동력 전달계에 관한 정보를 보여주고 있는데 하이브리드화에 의해 연료전지 시스템의 파워가 반으로 줄었음을 확인할 수 있다.

Fig. 4와 Fig. 5는 각각 위 파트에서 제기된 주행 전략을 Table 1과 Table 2의 연료전지 하이브리드 자동차에 적용하여 FTP75 urban와 NEDC 2000 주행사

Table 1 Parameters of the vehicle

Item	Value
Vehicle total mass (kg)	1500
Final drive gear efficiency (%)	90
Tire radius (m)	0.29
Aerodynamic drag coefficient	0.37
Vehicle frontal area (m <sup>2</sup> )	2.59
Air density (kg/m <sup>3</sup> )	1.23
Rolling resistance coefficient	0.014

Table 2 Powertrain parameters

	FCS power (kW)	Battery capacity (kWh)	Motor power (kW)
FCHV	35	1.5	75
FCV	70		75

등가 연료 소모량을 이용한 연료전지 자동차의 하이브리화에 대한 평가

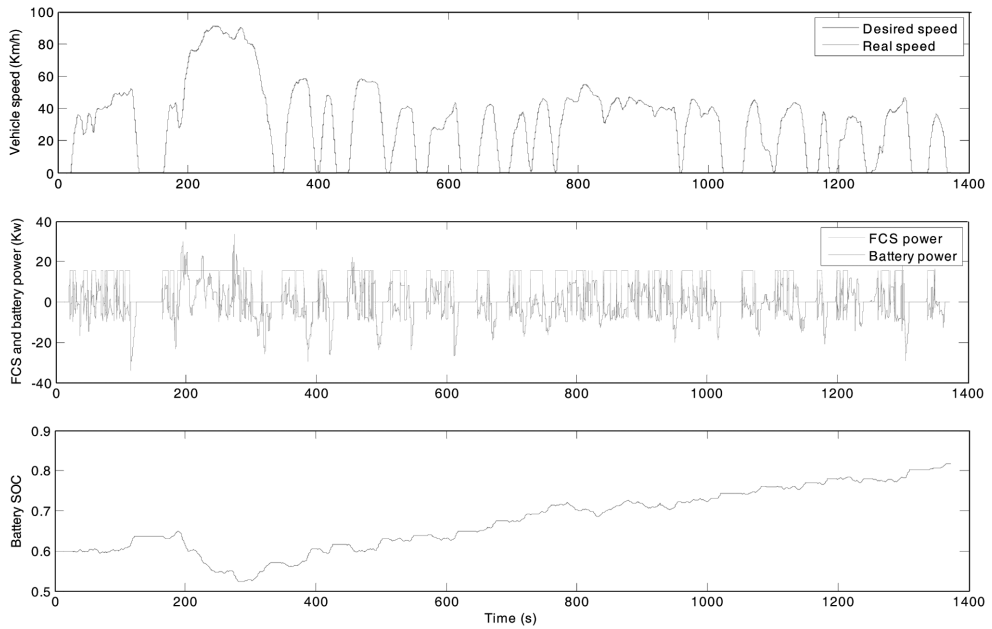


Fig. 4 Simulation results of FTP75 urban

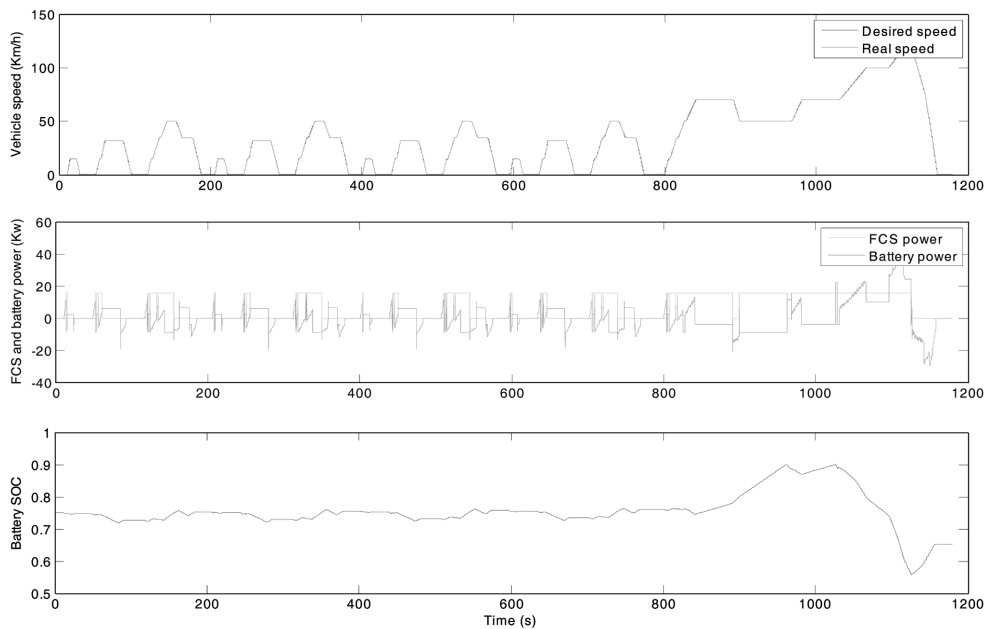


Fig. 5 Simulation results of NEDC 2000

이클에서 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 결과에서 확인할 수 있듯이 배터리의 초기 값과 최종 값이 같지 않다. 이 두 값의 차이가 수소 소모량의 평가에 주

는 영향을 고려하기 위하여 배터리 SOC의 초기 값을 바꿔가면서 시뮬레이션을 진행하여 배터리 SOC의 변화량과 수소 소모량의 변화량의 관계를 얻었다.

Table 3 Delta SOC and Delta hydrogen consumption (FTP75 urban)

Initial SOC	0.8	0.7	0.6
Final SOC	0.8982	0.8977	0.8109
Delta SOC	0.0982	0.1977	0.2109
Hydrogen consumption (g)	160.8431	164.957	165.6835
Delta hydrogen consumption (g)	0	4.1139	4.8404

Table 4 Delta SOC and Delta hydrogen consumption (NEDC 2000)

Initial SOC	0.8	0.75	0.7
Final SOC	0.5974	0.6526	0.6384
Delta SOC	-0.2026	-0.0974	-0.0616
Hydrogen consumption (g)	135.4388	143.5987	146.0818
Delta hydrogen consumption (g)	-25.4043	-17.2444	-14.7613

Table 3과 Table 4는 각 각 FTP75 urban와 NEDC 2000 주행사이클에서 배터리 SOC의 초기 값을 변화시키면서 얻은 SOC의 변화량과 수소 소모량의 변화량의 관계를 보여주고 있다. 여기서 Delta hydrogen consumption은 160.8431을 기준으로 하였다.

Fig. 6과 Fig. 7은 Table 3과 Table 4의 결과를 도시하고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 배터리 SOC의 변화량과 수소 소모량의 변화량은 근사한 비례적 관계를 가진다. 이 관계를 이용하면 배터리 SOC의 변화량이 0일 때 즉 배터리 SOC의 초기 값과 최종 값이 같다고 가정하였을 때의 등가 수소 소모량을 구할 수 있다. 이 값을 시뮬레이션에서 얻은 수소 소모량에 더해주면 전체 수소 소모량을 구할 수 있다. 이런 방식으로 등가 수소 소모량을 고려하여 연료전지 하이브리드 자동차의 전체 수소 소모량을 구하고 순수 연료전지 자동차와 비교해 보면 Table 5와 같다.

본 연구에서는 앞 뒤 바퀴축의 제동력을 비례적으로 분배한 다음 앞 바퀴축에서 다시 회생제동량과 기계적 제동량을 분배하는 제동 알고리즘을 적용하였다. 이런 제동 알고리즘은 100%의 제동 에너지를 회수하는 단순한 알고리즘과는 달리 FTP75 urban 주행사이클에서는 대략 74.97%의 제동 에너지를 회수하고 NEDC 2000 주행사이클에서는 대략

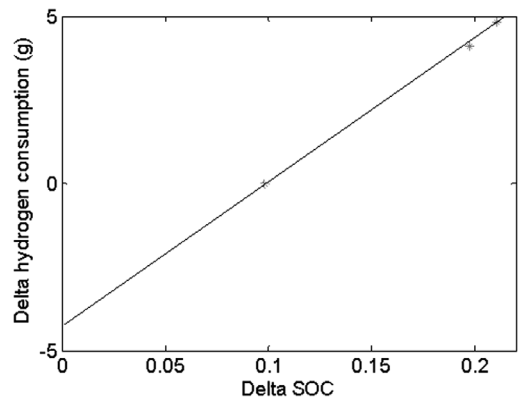


Fig. 6 Delta SOC and Delta hydrogen consumption (FTP75 urban)

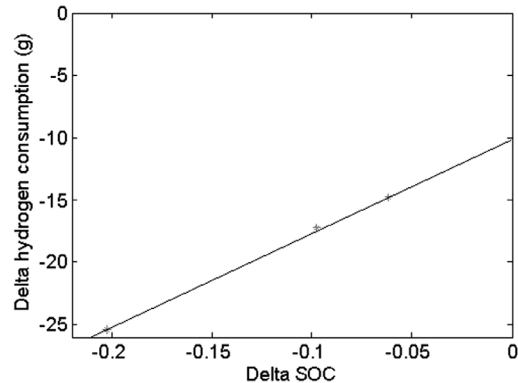


Fig. 7 Delta SOC and Delta hydrogen consumption (NEDC 2000)

Table 5 Hydrogen consumption comparison between FCHV and FCV

	FTP75 urban	NEDC 2000
FCHV (kg/100km)	1.307	1.369
FCV (kg/100km)	1.362	1.457

76.53%를 회수하게 되는데 이는 실제 상황에 더욱 근접하다.

결과에서 볼 수 있듯이 동력원의 하이브리드화를 통해 FTP75 urban 주행사이클에서는 대략 4.04% 상당의 수소 소모량을 줄였고 NEDC 2000 주행사이클에서는 대략 6.04% 상당의 소모량을 줄였다. 이는 주요하게 보조동력원인 배터리를 사용함으로써 주동력원인 연료전지 시스템이 효율이 높은 영역에서 작동하기 때문이다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 연료전지 하이브리드 자동차에 룰 베이스 주행전략을 적용하여 수소 소모량을 구한다 음 그 값을 순수 연료전지 자동차의 수소 소모량과 비교하였다. 배터리 SOC의 초기 값과 최종 값이 다르다는 영향을 고려하기 위하여 등가 수소 소모량의 개념을 도입하여 이 두 가지 차량의 수소 소모량을 비교하고 평가하였다. 간단히 100%의 회생제동을 사용하지 않고 앞 뒤 바퀴축의 제동력을 비례적으로 분배하고 앞 바퀴축에서 다시 회생제동량과 기계적 제동량을 분배하는 제동 알고리즘을 적용하였다. 그 결과 동력원의 하이브리드화를 통하여 FTP75 urban 주행사이클에서는 4.04% 상당의 수소 소모량을 줄였고 NEDC 2000 주행사이클에서는 6.04% 상당의 수소 소모량을 줄였는데 이는 주요하게 연료전지 시스템의 작동점들이 동력원의 하이브리드화를 통해 효율이 높은 영역에 분포 되었기 때문이다.

#### 후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(2011-0001276)과 지식경제부 전략기술개발사업(10031743, In wheel 구동시스템개발, 시스템 통합설계 및 평가기술 개발)의 일환으로 수행되었습니다.

#### References

- 1) M.-J. Kim and H. Peng, "Power Management and Design Optimization of Fuel Cell/Battery Hybrid Vehicles," *Journal of Power Sources*, Vol.165, pp.819-832, 2007.
- 2) M.-J. Kim, H. Peng, C.-C. Lin, E. Stamos and D. Tran, "Testing, Modeling and Control of a Fuel Cell Hybrid Vehicle," 2005 American Control Conference, pp.3859-3864, 2005.
- 3) J. Bernard, S. Delprat, F. Buechi and T. M. Guerra, "Global Optimization in the Power Management of a Fuel Cell Hybrid Vehicle (FCHV)," 2006 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, pp.1-6, 2006.
- 4) M. Ehsani, Y. Gao and A. Emadi, *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles*, 2nd Edn., pp.461-463, CRC Press, Boca Raton, 2010.
- 5) C. E. Oh, N. W. Kim, S. M. Byun, Y.-I. Park and S. W. Cha, "Research on the Method for Evaluating Fuel Economies of Hybrid Electric Vehicles Based on Equivalent Fuel Consumption," Fall Conference Proceedings, KSAE, pp.2870-2872, 2009.
- 6) J. Bernard, S. Delprat, F. N. Büchi and Thierry Marie Guerra, "Fuel-cell Hybrid Powertrain: Toward Minimization of Hydrogen Consumption," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.58, pp.3168-3176, 2009.