

## 투싼 연료전지 하이브리드 차량 개발

전 순일<sup>1)</sup>, 최 서호<sup>2)</sup>, 권 순우<sup>3)</sup>, 이 규일<sup>4)</sup>, 정 성진<sup>5)</sup>, 윤 성곤<sup>6)</sup>

### Development of Tucson Fuel Cell Hybrid Electric Vehicle

Soonil Jeon, Seoho Choi, Soonwoo Kwon, Kyuil Lee, Sungjin Jeong

**Key words :** Fuel cell(연료전지), Hybrid(하이브리드), Driving performance(주행성능), Charging(충전), Discharging(방전), Cold Start(냉시동), Efficiency(효율)

**Abstract :** Hyundai Motor Company developed the second generation of fuel cell hybrid electric vehicle based on Tucson SUV in 2004. This vehicle has cold start capability below -10C and its driving performances including maximum speed and accelerating time are almost similar to conventional Tucson SUV's performances without any sacrifice in terms of cabin space. Especially, the cold start capability was realized by utilizing only internal power sources such as fuel cell power and high voltage lithium ion polymer battery. In this paper, we will briefly introduce specifications of Tucson FCEV and its driving performances based on field test and simulations.

#### Nomenclature

AUX : auxiliary  
FC : fuel cell  
HV : high voltage  
INV : inverter  
LV : low voltage  
P : power, kW  
V : vehicle speed, kph

#### 1. 서 론

자동차와 관련된 환경 및 에너지 이슈를 보다 적극적으로 대응하기 위한 일환으로 현대자동차에서는 2000년도의 CaFCP (California Fuel Cell Partnership) 가입을 가지적인 시발점으로 연료전지 자동차 개발을 지속해왔다. 대표적인 예로, 2001년에 산타페 기반의 순수 연료전지 차량을 개발하였으며, 이는 75kW급 PEM 연료전지와 65kW급의 모터를 사용하는 시스템으로 차량 언더플로 위에 연료전지시스템이, 엔진룸에 모터 및 모터 제어기와 감속기 등이 장착되었다.<sup>1)</sup> 2003년도에는 산타페 순수 연료전지 차량에 30kW급 NiMH 배터리를 장착한 연료전지 하이브리드 차량을 개발하여, FUDS모드에서 순수 연료전지 차량 대비 약

18%의 연비 향상 결과를 얻었다.<sup>2)-3)</sup> 2004년에는 NiMH 배터리를 15.7F의 수퍼캡으로 대체한 업그레이드를 통해, 배터리 하이브리드 대비 약 10% 연비가 향상된 수퍼캡 연료전지 하이브리드 차량을 개발하였다.<sup>4)-5)</sup>

상용화 근접정도 및 차량성능을 기준으로, 2001년의 순수 연료전지 차량을 1세대, 2003년도와 2004년도의 배터리 및 수퍼캡 연료전지 하이브리드 차량을 1.5세대로 간주할 때, 2004년 10월에 개발된 투싼 기반의 연료전지 하이브리드 차량은(Fig. 1) 2세대로 간주될 수 있으며, 본 논

- 
- 1) 현대자동차 연료전지시스템개발팀  
E-mail : soonil@hyundai-motor.com  
Tel : (031)368-7480 Fax : (031)368-6787
  - 2) 현대자동차 연료전지시스템개발팀  
E-mail : seoho@hyundai-motor.com  
Tel : (031)368-7092 Fax : (031)368-6787
  - 3) 현대자동차 연료전지시스템개발팀  
E-mail : kingksw@hyundai-motor.com  
Tel : (031)368-7480 Fax : (031)368-6787
  - 4) 현대자동차 연료전지시스템개발팀  
E-mail : leekyu1@hyundai-motor.com  
Tel : (031)368-7088 Fax : (031)368-6787
  - 5) 현대자동차 연료전지시스템개발팀  
E-mail : sijeong@hyundai-motor.com  
Tel : (031)368-6669 Fax : (031)368-6787
  - 6) 현대자동차 연료전지시스템개발팀  
E-mail : ysg7758@hyundai-motor.com  
Tel : (031)368-6669 Fax : (031)368-6787

문에서는 투싼 연료전지 하이브리드 차량의 사양 및 차량 성능 테스트와 시뮬레이션 결과를 간략하게 소개하고자 한다.



Fig. 1 Photo of Tucson FCEV

## 2. 차량 사양

Table 1에 요약된 바와 같이 투싼 연료전지 차량은 80kW PEM 연료전지와 약 20kW급의 LiPB 배터리가 장착된 하이브리드 시스템으로 80kW의 AC 모터와 5000psi, 152리터의 압축수소를 사용한다.<sup>6)</sup>

연료전지시스템은 기존 신타페 연료전지차량과 달리 엔진룸에 패키징되어 있으며(Fig. 2), -10C 냉시동 가능형으로서, 외부 전원 없이 연료전지와 고전압 배터리 파워를 이용해 주요 시스템 부품 및 냉각수 해빙을 수행함으로써 냉시동을 완료하는 방식을 사용하고 있다. 또한, 효율면에서는 16kW net 파워에서 약 55%이상으로 가압형 연료전지시스템에 비해 높은 효율을 나타내고 있으며, 기존 신타페에 장착된 75kW급의 연료전지시스템에 비해 효율이 개선되었다.<sup>6)</sup>

에너지 저장장치로는 20kW급 LiPB를 사용함으로써, 주행 중 동력보조와 회생제동을 통한 차량 감속에너지 흡수 및 연료전지시스템 시동을 위한 고전압 부품(공기 블로워, 수소 재순환블로워, 물펌프 등)에 동력을 공급한다. 또한, Fig. 2에서 보는 바와 같이 배터리시스템을 차량 뒷 트렁크 짐 수납공간의 하단부에 패키징함으로써 기존 내연기관 투싼과 동일한 실내공간을 확보하였다.

엔진룸에 장착되어 있는 차량 구동용 모터는 최대 출력력 80kW, 3600rpm까지의 저속구간에서 최대토크 212Nm 사양으로서, 1단 감속비와 종감속비만을 이용해 기존 내연기관 투싼에 상응하는 최대속도 및 발전성능이 구현가능하다.

수소저장장치는 후륜 부의 언더프레임에 모듈화되어 장착되어 있으며, 5000 psi(350bar)까지 압축된 총 152리터의 수소를 3개의 용기를 이용해 저장 및 사용하는 시스템이다. 후방 충돌에 의한 수소 안전성을 확보하기 위해, 충돌해석을 통해 안전성이 검증된 프레임 구조를 사용하고 있으며,<sup>6)</sup> 후방 충돌을 감지하는 센서 정보로부터, 충돌과 같은 비상사태 시 수소 탱크의 솔레노이드 밸브를 오프시키는 방식을 채택하고 있다. 이외에 수소 누출과 관련된 안전성을 재고시키기 위해 3개의 수소 탱크와 엔진룸 및 연료전지 스택모듈 내에 수소누출 감지센서를 부착하는

등 다중의 안전장치 및 제어로직을 사용하고 있다.

Table 1 Specifications of Tucson FCEV

Fuel Cell system	Operating pressure: Ambient Max. net power: 80kW Output voltage: 240 ~ 450V Efficiency: 55% @ 16kW Cold start capability: -10C
Energy storage	Type: LiPB 20kW Nominal voltage: 152V
Electric Drive Train	Max. power: 80kW for 1 minute Continuous power: 40kW Max. torque: 212Nm up to 3600rpm
H <sub>2</sub> storage	Type: Compressed gaseous hydrogen Max. pressure: 5000psi Total volume: 152liter
Vehicle	Type: Small SUV Curb weight: 1800kg

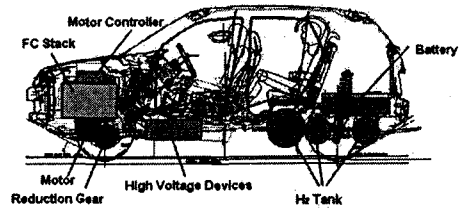


Fig. 2 Package layout of Tucson FCEV

## 3. 차량 성능 테스트 및 시뮬레이션

Fig. 3은 투싼 연료전지 차량의 동력흐름 개략도를 도시하고 있다. P<sub>FC</sub>, P<sub>HVDCDC</sub>, P<sub>INV</sub>, P<sub>HV\_AUX</sub>, P<sub>LVDCDC</sub>는 각각 연료전지 출력파워, 고전압 DC/DC 컨버터의 출력파워, 차량 구동을 위한 인버터 입력파워, 고전압 형태의 연료전지 시스템 및 차량 부품 용 입력파워, 저전압 DC/DC 컨버터 입력파워를 의미하며, P<sub>FC</sub>와 P<sub>HVDCDC</sub>의 합이 P<sub>INV</sub>, P<sub>HV\_AUX</sub>, P<sub>LVDCDC</sub>의 세 파워의 합과 동일하다. 배터리 충방전 제어는 고전압 DC/DC 컨버터의 전압제어를 통해 수행되며, 제어 파라미터로는 배터리 SOC(State Of Charge)와 운전자 악셀 개도에 따른 모터 토크 명령치가 사용된다.

Fig. 4는 배터리 충방전 및 회생제동이 포함된

주행테스트의 한 예를 도시하고 있으며, 배터리 충전 시 P\_HVDCDC는 음수이고, 회생제동 시 P\_INV는 음수이다. P\_HVDCDC는 약 -12kW ~ 15kW로 출력되고 있으며, 이에 따른 운전모드로는 차량 가속 시 동력 보조 모드, 악셀 오프 시 연료전지 파워를 이용한 배터리 충전 모드, 차량 감속 상태에서의 회생제동 모드 등 크게 3가지가 사용되고 있음을 확인할 수 있다.

기초 동력성능 테스트를 통해, 투싼 연료전지 차량의 최고속도 및 발진성능(0-100kph 도달 시간)은 각각 158kph, 15.1초로, 2.0디젤엔진과 자동변속기가 장착된 기존 투싼 차량의 성능과 상용함을 확인하였다. 특히, 우수한 발진성능은 저속 구간에서의 모터 최대토크 특성 및 1단 감속비에 기인한다.

앞의 기초 동력성능 테스트 결과를 기준으로 오차 범위 약 5%미만의 성능 예측이 가능한 시뮬레이터를 이용하여, FUDS(도심 모드, Federal Urban Driving Schedule), HWFET(고속도로 모드, Highway Fuel Economy Test), US06(가속 모드) 주행모드에서 연료전지 파워의 시뮬레이션 결과는 Fig. 5와 같다. 각 주행모드에서의 연료전지 파워 히스토그램과 Fig. 6의 연료전지 파워에 대한 시스템 효율이 낮은 10kW 미만에서 빈번이 운전되고 있으며, HWFET모드에서는 시스템 최대 효율 근처인 20kW 부근에서 대부분의 운전점이 형성되고 있음을 확인하였다. 이에 비해, US06 모드에서는 10kW미만 및 20~40kW 대를 주요 작동 영역으로 하여 연료전지 최대파워까지 넓게 사용됨을 알 수 있다. 위와 같은 이유로 차량 연비는 HWFET, FUDS, US06 순으로 저하된다.

Fig. 7은 -10C 냉시동 테스트 시, 스택, 공기공급시스템(APS), 냉각시스템(TMS), 수소공급시스템(FPS) 내부의 특정 위치에서의 온도변화 추이를 도시하고 있으며, 본 테스트를 위해, 차량을 냉동챔버에 3~20일 정도 충분히 soaking 시킨 후 냉시동을 수행하였다. APS 및 FPS는 비교적 짧은 시간에 warm-up이 완료되며, 이에 비해 TMS는 냉시동 완료시점까지 지속적으로 히팅되는는 제어기법이 적용되었다.

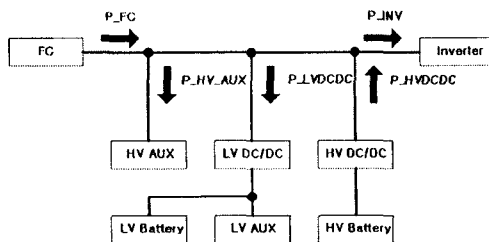


Fig. 3 Schematic diagram of power flow

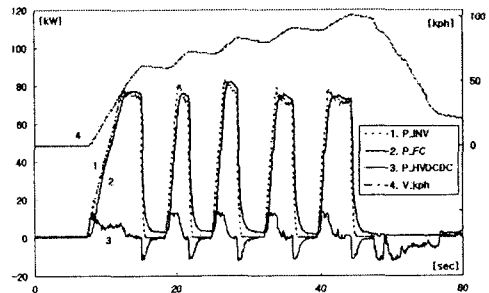
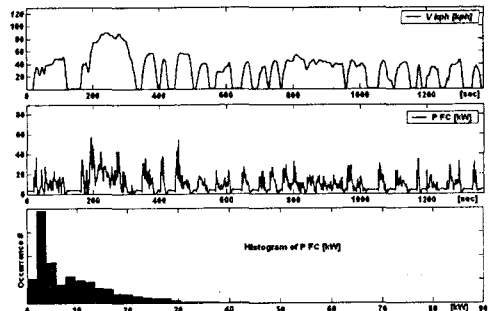
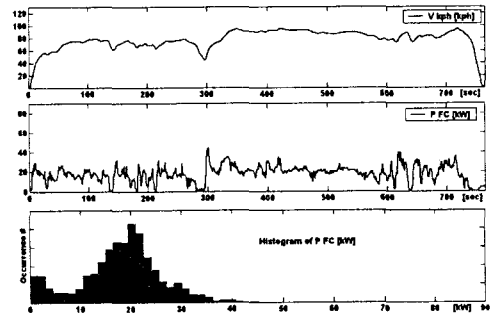


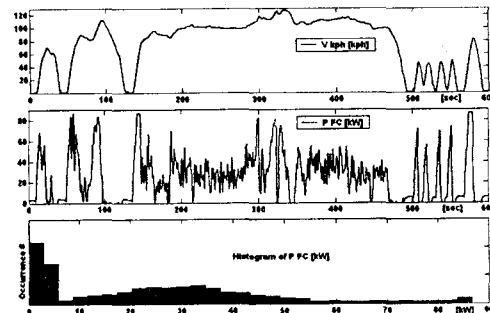
Fig. 4 Driving performance test



(a) FUDS driving cycle



(b) HWFET driving cycle



(c) US06 driving cycle

Fig. 5 Fuel cell power profiles (simulation)

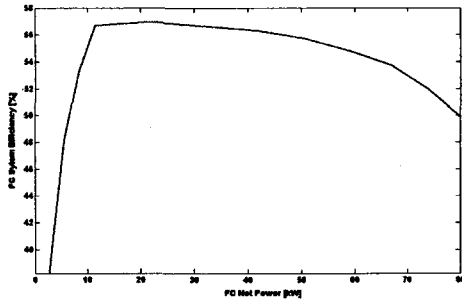


Fig. 6 Fuel cell system efficiency

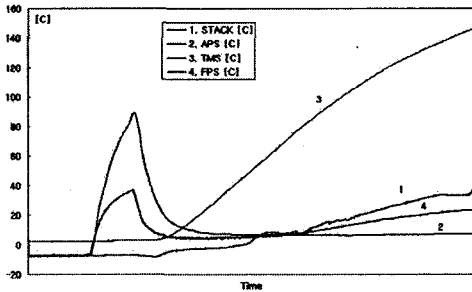


Fig. 7 Temperatures during cold start test

## References

- [1] Kichun Lee, Seoho Choi, et. al, *Hyundai Santa Fe FCV Powered by Hrodrogen Fuel Cell Power Plant Operating Near Ambient Pressure*, SAE world congress, 2003
- [2] Seoho Choi, Soonwoo Kwon, et. al, *Control of Power Distribution in Fuel Cell Hybrid Vehicle*, EVS20, 2003
- [3] Seoho Choi, Soonwoo Kwon, et. al, *Design of Fuzzy Logic Power Distribution Controller for Fuel Cell Hybrid Vehicles*, Fisita, 2004
- [4] Soonil Jeon, Joonyong Lee, Sungjin Jeong, Taewon Lim, *Hyundai Supercapacitor Fuel Cell Hybrid Electric Vehicle*, EVS21, 2005
- [5] Sangkwon Kim and Seoho Choi, *Development of Fuel Cell Hybrid Vehicle by Using Ultra-Capacitors as a Secondary Power Source*, SAE world congress, 2005
- [6] Sae Hoon Kim, Young Bum Kum, Ki Chun Lee, Tae Woon Lim, Joon Chul Park, John Ferro, and Dave M. Flanagan, *Development of Hyundai's Tucson FCEV*, SAE world congress, 2005

## 4. 결론

80kW PEM 연료전지와 20kW LiPB 및 80kW AC모터를 사용하는 투싼 연료전지 하이브리드 차량은 양산성에 한발 더 근접한 현대자동차의 제 2세대 연료전지 차량으로서, 연료전지시스템이 엔진룸에 장착되는 등 내연기관 투싼과 동일한 실내 공간을 유지하도록 패키징 되었으며, 최대속도와 발진성능 면에서도 내연기관 차량에 상응하는 성능을 확보할 수 있도록 개발되었다.

기술적인 진보면에서는, LiPB 배터리와 연료전지 자체 파워만을 이용 -10C 냉시동이 가능한 연료전지시스템이 개발 탑재되었으며, 냉시동 시간 최소화 등 시스템 최적화를 위한 연구개발을 지속하고 있다.

또한, 2005년부터 시작되는 DOE 시험 운행 통해 주행환경에 따른 연료전지시스템 및 차량 고장모드 분석 및 최적화를 수행함으로써, 연료전지 차량 양산화의 걸림돌 중의 하나인 차량 신뢰성 및 내구성 향상을 위한 연구를 본격화할 계획이다.