한국신·재생에너지학회 2007년도 춘계학술대회논문집 pp.553~556

승용차용 연료전지 스택 개발

이 종현[1], 금 영범[2], 양 유창[3], 김 세훈[4]

Development of PEMFC Stack for passenger car application

Jong Hyun Lee, Young Bum Kum, Yoo Chang Yang, Sae Hoon Kim

Key words : FCV(연료전지자동차), PEMFC Stack(고분자 전해질형 연료전지 스택), Cold start-up(저온 시동), Separator(연료전지용 분리판), Manifold block(공용분배기), Durability(내구성)

Abstract : Hyundai·Kia Motors have developed PEMFC stack technologies for passenger car application in 1998. The developed 80kW class stack, which was installed Kia's Sportage FCV in 2005, has been modified for -10℃ cold start-up and ensuring the stability and durability by using new technologies such as newly designed separator, manifold block, end plate, and so on. And also, the stack durability has been verified over 1,500hrs with the condition of combined vehicle driving mode.

Hyundai·Kia Motors will keep continuing the stack R&D to reach the goal of FCV commercialization.

Nomenclature

RP : rated power, %

subscrip

BB system : breadboard system
SUV : sports utility vehicle

1. 서 론

연료전지자동차는 수송용 에너지 분야에서 석유자원의 고갈을 대비한 미래의 에너지원인 수소를 사용함으로써 에너지 자립도를 향상 시킬 뿐만 아니라, 지구온난화에 대한 친환경기술로써 북미지역의 ZEV규제, EU의 CO_2 총량규제 등에 대한 대응기술로 오랜기간 주목을 받아오고 있으며, 미국, EU,일본 등 주요국가에서 다양한 형태의 시범운행 등을 통하여 기술적으로 상업화에 상당히 근접한 성과를 보이고 있다. 한편, 2005년 기준으로 세계5위의 자동차 생산국인 우리나라의 경우 자동차산업은 완성차 및 부품산업간의 전후방 연관 효과가 가장 크고 무역수지 흑자가 332.3억불로 타 분야에 비해 국가경제기여도에 가장 큰 역할을 수행하고 있으나, 최근의 시장환경은 생존경쟁이 심화되고 있는 상황이다. 이러한 시장환경에서 연료전지자동차기술은 새로운 성장동력으로 자동차산업의 지속적 성장에 기여할 수 있는 분야로 기대되고 있다.

본 논문에서는 이러한 연료전지자동차의 개발현황 및 연료전지자동차에서 동력을 발생시키는 기존 내연기관에서의 엔진역할을 수행하는 승용차용 연료전지 스택에 대한 현대·기아자동차의 자체기술개발현황 및 연구성과를 소개하고자 한다.

2. 연료전지자동차 개발

현대·기아자동차의 연료전지자동차 개발은 1998년 11월부터 G7 차세대 자동차 기술개발 사업의 하나인 "연료전지 하이브리드 추진차량 설계기

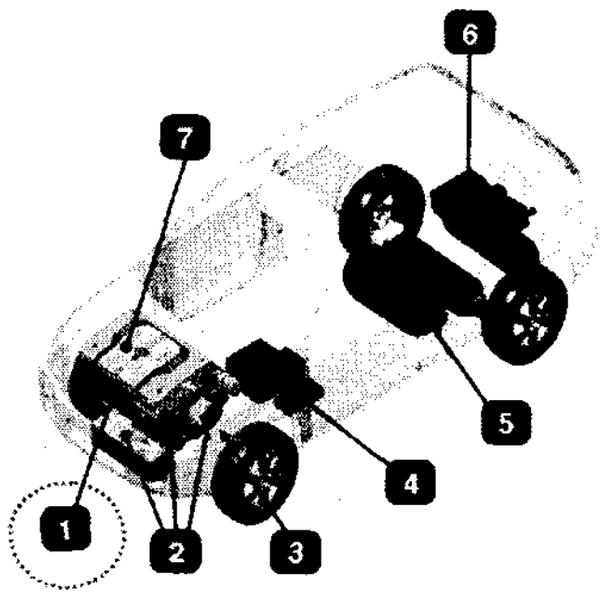
1) 현대·기아 자동차 연구개발본부
E-mail : jhlee1@hyundai-motor.com
Tel : (031)899-3206 Fax : (031)899-3331
2) 현대·기아 자동차 연구개발본부
E-mail : ybkum@hyundai-motor.com
Tel : (031)899-3198 Fax : (031)899-3331
3) 현대·기아 자동차 연구개발본부
E-mail : ycyang@hyundai-motor.com
Tel : (031)899-3202 Fax : (031)899-3331
4) 현대·기아 자동차 연구개발본부
E-mail : saehoon@hyundai-motor.com
Tel : (031)899-3205 Fax : (031)899-3331

술 개발" 과제에 참여하면서부터 본격적으로 시작되어 2000년 UTC社의 스택을 도입 적용하는 공동개발과 자체개발 스택을 적용하는 독자개발을 병행 추진함으로써 기술개발의 속도를 배가할 수 있는 기반을 확보하고 2004년에 투싼FCV(공동), 2005년에 스포티지FCV(자체)를 개발하였다.[1, 2)]

2.1 연료전지자동차의 원리 및 구조

연료전지자동차는 기본적으로 연료인 수소와 공기 중의 산소와의 전기화학 반응에 의해 생산된 전기를 사용하여 모터를 구동함으로써 차량을 주행하는 것을 기반으로 하고 있다.

이러한 연료전지자동차는 아래의 Fig.1에 나타낸 바와 같이 7가지의 구성요소로 구분할 수 있으며, 그 기능을 살펴보면 다음과 같다.



[투싼연료전지차, 2004]

1) 스택 : 전력발생
(화학에너지→전기에너지)
2) 운전장치 : 수소/공기 공급,
물/열 관리
3) 모터/감속기 : 동력전달
(전기에너지→기계적 운동에너지)
4) 전력변환기 : 전력의 변환 및 차단
5) 수소 탱크 : 수소연료 저장
6) 배터리 : 보조전원 공급
7) 제어기 : 연료전지 및 차량 제어

Fig. 1 연료전지자동차 구성요소

또한, 현재 개발된 대부분의 연료전지자동차 동력원구성은 연료전지시스템의 크기 감소 및 내구성 증가와 동시에 차량의 효율 및 동적반응 특성을 보완함으로써 상품성을 향상시키기 위해 에너지 발생장치인 연료전지와 에너지 저장장치인 배터리(혹은 슈퍼캐패시터)를 하이브리드화한 형태를 가지고 있다.

2.2 연료전지자동차 개발 동향

현재 연료전지자동차는 Toyota, Honda를 중심으로 한 일본계 자동차 회사들과 GM, Ford를 중심으로 한 미국계 회사들을 포함하여 전 세계의 주요 완성차메이커들이 거의 대부분 자사의 기술개발에 많은 연구자원을 투입하고 있으며, 각국 정부의 지원 하에서 다양한 형태의 시범운행을 통하여 연료전지자동차의 상용화 가능성을 평가하고 있다. 아래의 Fig.2에 이러한 시범운행에 투입된 각 회사들의 대표적인 연료전지자동차를 소개하였다.

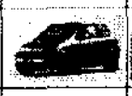
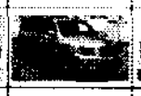
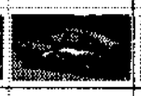
구 분	혼다	도요타	지엠	DCX	포드	현대
						
차 명	FCX	FCHV	Hydrogen 3	F-Cell	FCEV	투싼 FCEV
베이스 차량	-	클루거 V	오펠 지피리	A-Class	포커스	투싼
보조전원	슈퍼커패시터	배터리	-	배터리	배터리	배터리
연료전지 출력	85kW	90kW	94kW	85kW	85kW	80kW
	발라드	도요타	지엠	발라드	발라드	유티씨/현대
최고속도	150kph	155kph	160kph	140kph	-	153kph
항속거리	355km	300km	400km	145km	290km	337km
수소 탱크 압력	350기압	350기압	액체수소	350기압	350기압	350기압
비고	냉시동성 확보	700기압 기술 확보	700기압 기술 확보	700기압 기술 확보	700기압 기술 확보	700기압 기술 확보 냉시동성 확보

Fig. 2 시범운행 중인 연료전지자동차

한편, 이러한 연료전지자동차들에 탑재된 연료전지 스택의 출력범위는 80 ~ 100kW 수준을 나타내고 있으며, 자동차용 연료전지 스택의 기술개발형태는 Ballard社, UTC社와 같은 연료전지 전문회사의 스택을 도입적용하거나 완성차메이커가 자체개발한 스택을 적용하고 있으며, 점차 완성차메이커의 자체개발 스택 적용이 증가되는 경향을 나타내고 있다.

3. 승용차용 연료전지 스택 개발

3.1 연료전지 스택 구성

연료전지 스택은 연료인 수소를 고온의 연소과정 없이 전기로 직접 바꾸어 주는 에너지 변환장치로 그 작동 개념은 아래의 Fig.3에 나타내었다.

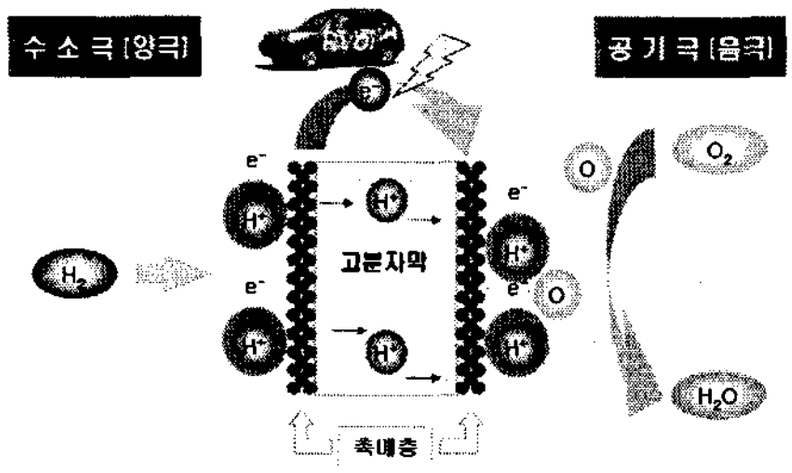


Fig. 3 연료전지 스택의 작동 개념

이러한 연료전지 스택은 크게 반응기체들의 전달 통로 및 전기전도 기능을 가지는 분리판, 전기화학반응에 의한 전기발생기능을 하는 MEA, 반응기체들의 확산 및 물제거와 MEA를 보호하는 기능을 하는 GDL, 반응가스들 및 냉각수에 대한 기밀 유지를 위한 가스켓, 연료전지 스택의 적정 체결압 유지를 위한 체결기구 등으로 구성되며, SUV 차량의 엔진룸 탑재를 목표로 개발된 연료전지 스택의 구조는 아래의 Fig.4에 나타낸 바와 같이 4개의 단위모듈과 1개의 공용분배기를 조합한 형태를 가진다.

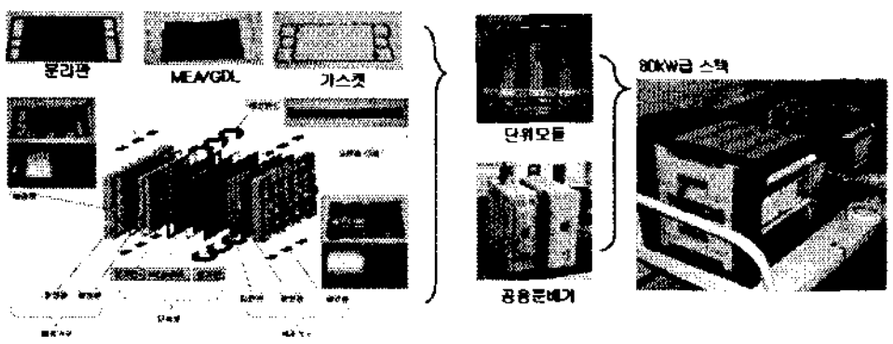
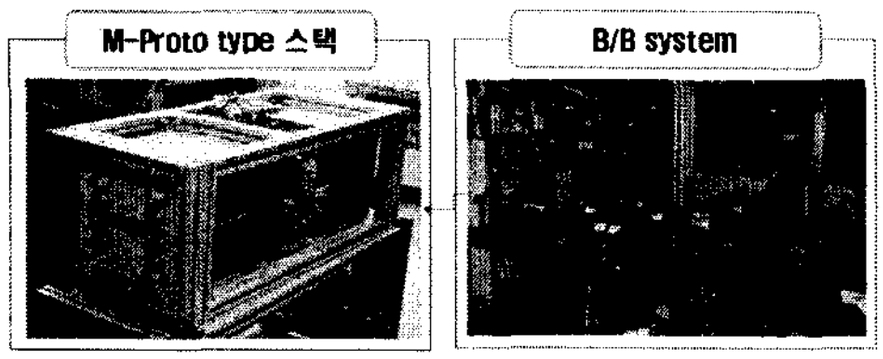


Fig. 4 연료전지 스택 구성

3.2 연료전지 스택 검증

차량 탑재를 전제로 한 승용차용 연료전지 스택을 개발하기 위해 우선 Meca-Proto 스택을 제작하여 그 개념과 기능성을 아래의 Picture.1에 보인바와 같이 연료전지시스템의 기능 모사를 위해 구성된 BB system에 탑재하여 평가하였으며, 이때 73.1kW (at 0.61V/cell)의 출력성능을 확인하였다.[1)]



Picture. 1 Meca-Proto 스택 및 BB system

이러한 Meca-Proto 스택은 아래의 Fig.5에 나탠 바와 같이 설계보완을 통하여 차량 탑재형으로 개발되었으며, 연료전지 성능시험기를 이용하여 아래의 Fig.6에 나타낸 바와 같이 부분가습 조건에서 약 80kW의 출력과 -2.5%~1%의 성능편차를 가진 것을 확인하였다.

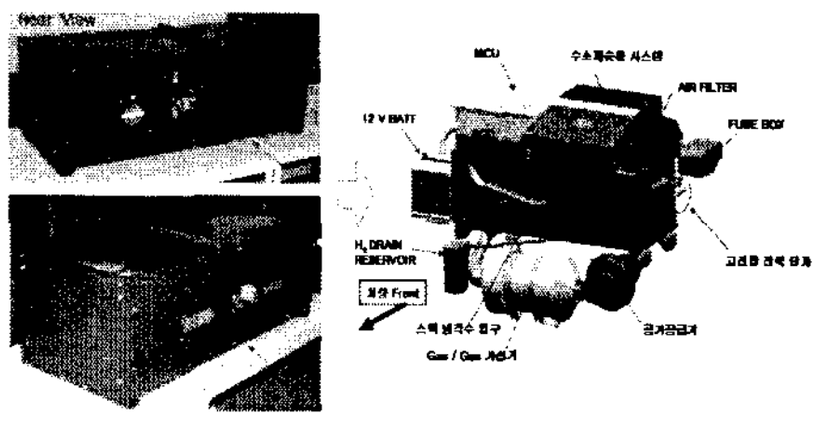


Fig. 5 차량 탑재형 스택

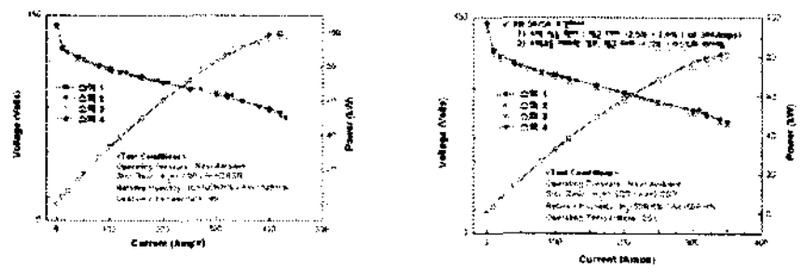


Fig. 6 차량 탑재형 스택 성능

3.3 연료전지 스택 성능 향상

개발된 스택의 차량 평가 결과 차량의 완성도 향상과 향후 개발차량 적용을 위한 빙점 이하에서의 저온 시동성 확보를 위해 분리판 및 공용분배기의 추가 개발을 수행하여 차압 및 출력특성을 개선함으로써 아래의 Fig.7에 나타낸 바와 같이 스택의 성능을 개선하였다.

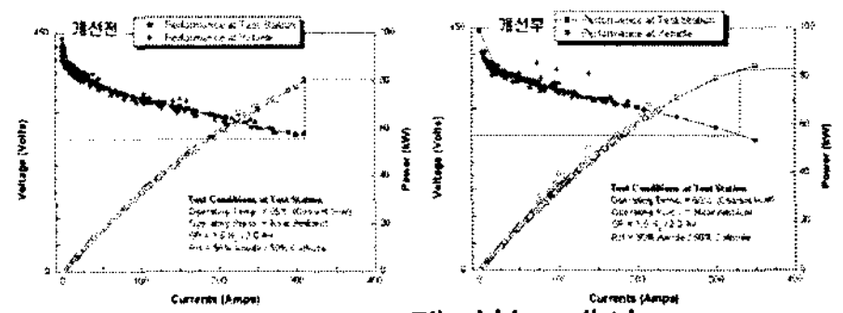


Fig. 7 스택 성능 개선

개발된 스택의 내구성능은 승용차의 실제 주행을 모사하는 복합주행모드인 FTP-75 (55%)와 HWFET (45%)로 구성된 실주행 상사모드를 통하여 확인하였다.

1차 평가에서는 총 주행환산거리로 55,301km에 해당하는 1,537시간 운전을 달성하였으며, 개선된 연료전지 스택 운전기술을 적용한 2차 평가에서는 총 주행환산거리로 76,444km에 해당하는 2,112시간 운전이 2007년 5월 3일 현재까지 계속 진행되고 있으며, 아래의 Fig.8에 전압-전류 특성 변화를 나타내었다.

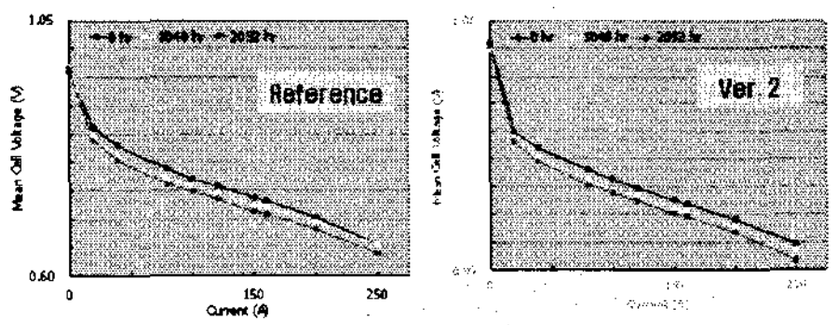


Fig. 8 전압-전류 특성 변화
(2차 내구, 2,092시간 진행 中)

빙점 이하에서의 저온시동기술 개발은 동일수준의 구조강성과 기존대비 열전도성을 1/4수준으로 낮춘 개선 End Plate와 65℃에서 1,500시간동안 냉각부동액 순환을 통하여 냉각수에 대한 분리판 적합성을 검증한 개선 분리판을 적용하여 제작한 20셀 스택(정격:4kW)을 이용하여 외기온 -10℃에서 -10℃의 반응가스들을 공급하고 냉각부동액이 스택내부를 채우고 있는 상태에서 스택의 자체발열을 이용하여 약 60초에서 50% rated power인 2kW의 출력을 확인하였다.

이러한 기술들을 바탕으로 -10℃에서 저온시동이 가능한 승용차용 연료전지 스택을 개발하여 차량에 탑재한 후 아래의 Fig.9에 나타낸 바와 같은 출력특성을 확인하였으며, 차량탑재조건하에서 스택의 -10℃의 저온시동성 평가도 진행할 예정이다.

또한, UTC社의 스택을 도입 적용한 DOE 시범운행 투입차량(06년)과의 자체성능비교에서 나타난 결과를 참고로 하여 자체개발 스택을 탑재한 차량의 최고속도와 가속성능의 보완을 위한 연료전지 스택의 출력 증대를 위한 기술개발 뿐만 아니라 내구성능 증대 및 -20℃ 저온 시동성 확보를 위한 연료전지 스택 관련 기술들의 개발을 지속적으로 추진하여 연료전지 차량의 상품성을 향상시킬 예정이다.

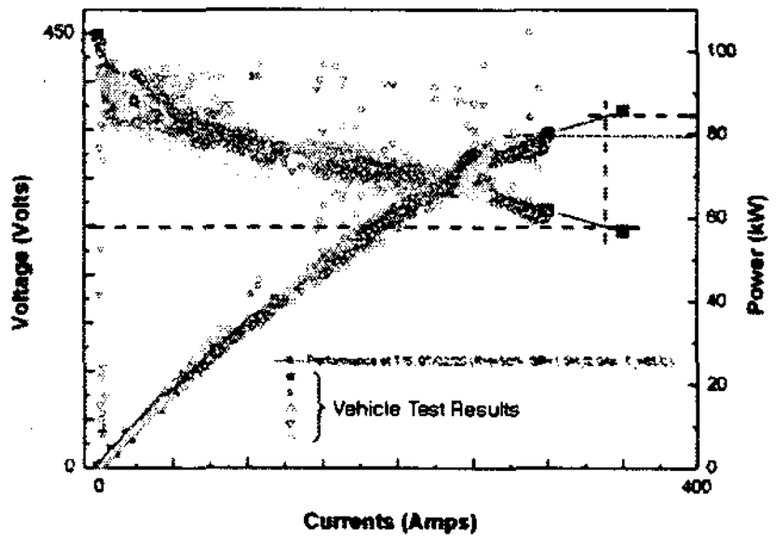
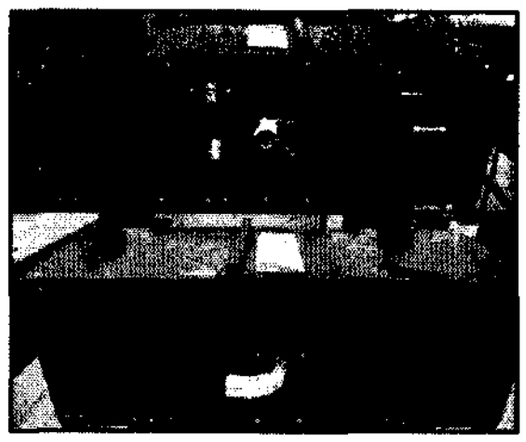


Fig. 9 개발 스택의 출력 특성

4. 결 론

승용차용 연료전지 스택의 개발은 Meca-Proto 스택에서 설계 개념과 기능을 검증한 후 차량탑재를 위한 설계보완을 통하여 연료전지 차량에 적용되었으며, 차량 탑재 성능평가 결과를 반영한 개선사항을 보완하여 최종적으로 -10℃에서 시동이 가능하고, 실주행 상사내구를 통하여 1,500시간 이상의 내구수명을 확보한 80kW급 승용차용 연료전지 스택을 개발하였다.

개발된 스택의 외관 및 주요제원은 아래의 Picture.2와 Table 1에 나타내었다.



Picture. 2 개발 스택의 외관

Table 1 개발 스택의 주요 제원

구 분	항 목
방 식	고분자 전해질형 연료전지
작동전압	250 ~ 450VDC
출 력	80kW
작동온도	-10℃ ~ 80℃
작동압력	상압형

후 기

본 연구는 산업자원부 신·재생에너지 프로젝트형 기술개발사업인 "자동차구동용 80kW급 PEMFC 발전모듈 개발" 의 일환으로 수행되었습니다.

References

[1] 신환수, 조규택, 성용진, 김영민, 서진식, 김세훈, 2005, "자동차용 PEMFC 스택 개발", 한국신·재생에너지학회 05 춘계학술대회, pp. 374-377

[2] Jong Hyun Lee, Young Bum Kum, Sae Hoon Kim, Seo Ho Choi, Seung Won Yoo, 2006, "Recent Development of Fuel Cell Vehicles in Korea", The 1st Annual Korea-USA Join Symposium on Hydrogen & Fuel Cell Technologies, pp. 121-125