

일본의 연료전지 자동차의 연구개발

이 대 업 박사 · 일본기계기술연구소 연소공학연구실

지구 규모의 환경문제가 크게 주목을 받고 있는 시점에서, 자동차에 대해서도 지금보다 더 에너지 효율이 높고, 깨끗한, 특히 환경에 친화적인 차의 개발이 요구되고 있다. 구체적으로는 자동차의 연료소비량 저감(연비 향상)을 목표로 한 연구개발이 활발히 진행되고 있고, 이에 대한 접근 방법에는 크게 다음의 두 가지가 있다.

(i) 더욱 개선된 내연기관의 개발 : 희박연소 엔진, 직접분사 가솔린엔진, 직접분사 디젤엔진의 개발
(ii) 새로운 동력원의 개발 : 천연가스 또는 메탄올 등의 대체연료자동차 및 전기자동차, 하이브리드 자동차, 연료전지 자동차의 개발
본고에서는 이들 가운데, 일본(단, 일부 내용은 일반적인 설명도 포함)에서의 연료전지자동차의 연구 개발 동향에 대하여 살펴본다.

연료전지 자동차의 특징

연료전지는 수소와 산소를 이용하여 화학에너지를 직접전기에너지로 변환하는 것으로, 열기관에서와 같은 카르노 사이클의 제약을 받지 않고, 열기관에 비해 2~3배의 높은 에너지 변환 효율을 달성할 수 있다. 또한 장래에 태양전지, 수력발전 또는 바이오매스를 이용하여 수소의 제조가 가능하게 되면, 에너지 자원의 다양화 및 연속성의 측면에서도 많은 가능성을 갖고 있다. 따라서, 현재 연료전지를

자동차에 응용하기 위한 연구개발이 세계적으로 활발히 진행되고 있다.

연료전지 자동차는 수소만을 연료로 할 때는, CO₂ 배출량을 가솔린 자동차의 1/3, 메탄올을 연료로 할 때는 약 1/2정도까지 저감시킬 수 있는 가능성이 있다.(연료의 생산에서 배출되는 CO₂도 포함) 참고로 전기자동차의 경우는, 전기 생산에서 발생하는 CO₂를 포함할 경우 가솔린 자동차에 필적하는 배출량이 예상되고 있다. 현재 연료전지자동차 자체가 연구개발 도중에 있고, 특히 탄화수소계 연료를 차량에서 개질하는 경우에는, 연료전지의 효율과 함께 개질기(改質器, reformer)기의 효율도 중요하기 때문에 향후의 연구개발 진행에 따라 보다 높은 효율 및 연비의 향상도 기대할 수 있다.

자동차용 연료전지

연료전지의 원리는 1800년대의 전반경부터 알려져 왔으나, 실용화의 어려움으로 인해 1965년에서야 미국의 우주선 제미니에 탑재되었고, 이후 우주선의 동력원, 전력 사업용, 분산 전원용 그리고 휴대용 전원 등으로 사용되어 왔다. 연료전지는 사용하는 전해질 및 연료의 차이에 의해 여러 가지로 분류할 수 있으나, 그 가운데 fluorine계의 전해질막을 사용한 고체분자형 연료전지(Polymer Electrolyte Fuel Cell, 이하 PEFC)는 자동차용

도에 적합한 몇 개의 특징을 갖고 있다.

즉, (i) 상온에서의 기동이 쉽고(동작온도 100℃ 이하), 빈번한 기동 및 정지에 적합, (ii) 높은 전류밀도를 꺼내는 것이 가능하고, 소형화, 고출력화가 요구되는 용도에 적합, (iii) 구조가 간단하여 보수유지가 용이하기 때문에 일반 사용자를 대상으로 하는 용도에 적합, 그리고 (iv) 고체 재료만으로 구성되어 있기 때문에 진동이나 충격이 가해지는 용도에 적합하다. 이러한 특징으로부터 자동차용 연료전지로써 PEFC가 개발의 대상이 되고 있다.

연료전지자동차는 PEFC와 2차전지로 된 하이브리드 시스템으로 구성하는 것이 일반적이다.

여기서 2차전지는 부하변동에 대하여 load leveling의 역할 및 동시에 PEFC 기동시의 기동용 전원의 역할을 담당한다. 즉, PEFC와 2차전지를 하이브리드 시스템으로 하여 연료전지 자동차의 에너지효율을 높이고, 주행거리를 늘리는 것이 가능하게 된다.

일본의 연구동향

마즈다 자동차는 수소연료의 고효율을 이용하고, 청정연료화를 목표로 PEFC에 의한 전기자동차 개발을 실시하여 왔다. 1992년에는 캐나다의 Ballard Power System의 MK5형 스택을 탑재한 시작차를 제작, 시동성 및 과도응답성등을 평가하여 PEFC가 전기자동차용 동력원으로써 우수한 특징을 갖고 있는 것을 확인하였다. 그 이후에, 미국 텍사스 A&M 대학교의 공동연구 등을 실시하여 촉매전극의 고활성화 및 스택 제작 등의 기반기술을 육성하였고, PEFC의 독자개발을 진행해왔다. 그리고 1997년 12월에는 독자의 PEFC 스택 및 시스템을 사용한 실험차량 데미오 PEFC를 개발했다. 표1에 주요제원을 표시하였다. 또한, 1998년4월에

〈표 1〉 마즈다 연료전지자동차(Demio FCEV)의 주요제원

기본제원	길이×폭×높이(mm)	3,800×1,670×1,535
	승차정원(명)	4
성능	최고속도(km/h)	90
	수소 일회 충전주행거리(km)	170(10-15모드)
연료전지	형식	고체고분자형
	최대출력(kW)	20kW(5kW×4개)
	길이×폭×높이(mm)	380×220×220(×4개)
연료, 연료탱크	연료/연료 저장방식	수소/수소흡착합금
	저장량(m³)	15(0℃ 1기압에서의 체적)
	길이×폭×높이(mm)	70×100×540(×8개)
전동기	형식	교류 동기 전동기
	최대출력(kW)	40
출력보조	형식	울트라 커패시터
	최대출력(kW)	20

〈표 2〉 토요타 FCEV의 주요제원-메탄올 개질기(reformer) 탑재

차량	RAV45-door	
기본제원	길이×폭×높이(mm)	3,980×1,695×1,635
성능	Maximum speed(km/h)	125
	일회 충전 주행거리(km)	500
구동방식	형식	Front motor, 전륜구동
전동기	형식	영구자석, 동기식
	최대출력(kW)	50
	최대출력(Nm)	190
연료전지	형식	PEFC
	길이×폭×높이(mm)	1,080×500×240
	정격출력(kW)	25
메탄올 개질기	직경×길이(mm)	300×600
연료	메탄올	

는 포드사, 다임러 벤츠사, 벨라드사등 3사에 의한 국제적인 FCEV(Fuel Cell Electric Vehicle) 개발의 신공동사업에 참가함을 발표했다.

토요타자동차는 1996년에 수소만을 연료로 하는 연료전지 자동차 TOYOTA FCEV를 발표하였다. 이 FCEV에는 토요타자동차가 독자로 개발한 연료전지, 수소 저장장치, 그리고 2차전지로 된 하이브리드 시스템이 탑재되었다. 또한 1997년에는 메탄올을 연료로하는 TOYOTA FCEV를 발표하였다. (표2 참조)

〈표3〉 일본자동차 각사의 연료전지자동차 개발단계 및 계획

회사명	1997년	1998년	1999년
토요타자동차	메탄올 FCEV 발표	2003년 실용화	GM과 환경선진차의 공동개발
닛산자동차	메탄올FC 시스템발표 고효율 클린에너지 자동차개발에 참가	2003-5년 실용화	
혼다기연공업	수소 데미오(Demio)	2003년 실용화	
마즈다	FCEV발표	Ford, Daimler 프로젝트에 참가	
미쓰비시자동차		미쓰비시중공업과 공동연구	미쓰비시석유도 연구에 참가, 2003년 실용화

일본자동차연구소(JARI)는 차세대의 연료전지 개발을 시작(1999년 2월 현재)하여, 개질기를 통하지 않고 직접 메탄올로부터 수소를 꺼낼 수 있는 '다이렉트 메탄올형 연료전지(DMFC)'의 연구개발 사업에 착수하였다. 여기에는 NEDO(신에너지-개발총합기구)의 위탁에 의해, 닛산, 스즈키, 일본전지, 스미토모 금속공업, 미쓰비시 가스화학과 대학등이 관민공동으로 참여하고 있고, 정부예산으로 6년간 6억 6천만엔을 투입하여 2003년도말까지 시작차 완성을 목표로 하고있다. 혼다자동차(1999년 2월 현재)는 내년도 중에 메탄올 연료전지차의 시작차를 자사개발하고, 2003년까지는 실용화를 목표로 개발하고 있다. 혼다자동차는 캐나다의 Ballard Power System사와도 기술제휴하고 있다. 미쓰비시의 경우(1999년 3월 현재), 2005년까지의 개발 계획을 2003년까지로 앞당겨 연료전지자동차 FCEV의 실용화를 목표로 개발하고 있다. 각사의 연구개발 단계 및 계획(최근 3년간)을 요약하면 표3과 같다.

연료전지자동차의 실용화를 향한 과제

연료전지자동차는 지역환경, 지구환경, 자원-에너지문제 등 자동차가 갖고 있는 문제를 전부 해결할 수 있는 가능성도 있어 많은 기대를 받고 있고, 현재 연구개발이 활발히 진행되고 있지만, 실용화

를 위해서 해결해야하는 과제가 산적해 있는 상태이다. 주요 과제로서는 (i) 연료전지 시스템을 구성하는 각 부품의 보다 소형화 및 고출력화, (ii) 저코스트화, (iii) 연료의 선택 및 인프라의 정비, (iv) 탄화수소계 연료 사용시의 성능확보, 그리고 (v) 내구성 및 신뢰성의 확보 등을 열거할 수 있다.

이 이외에도 연료전지는 수소와 산소로부터 물을 생성하는 과정에서 발전을 하기 때문, 발생된 물의 처리를 포함하여, 예를 들어, 빙점 이하의 저온시에 연료전지 자동차를 시동시키는 것도 문제가 된다. 연료전지 자동차는 연료전지라고 하는 새로운 동력원을 탑재하기 때문에, 종래의 내연기관을 탑재한 자동차에서는 경험하지 못했던 새로운 과제에 직면하게 된다.

일반적으로 '연료전지'가 완성되면 연료전지자동차가 완성되는 듯한 예상을 할 수도 있으나, 연료전지 자동차의 실용화를 위해서는 연료전지 본체는 물론이고, 연료전지 시스템을 구성하는 각 부품의 완성도 향상, 그리고 시스템구성의 최적화 및 제어의 방법의 검토등, 많은 개발의 단계를 해결해야만 한다.

〈이대엽편집위원:Lee@mgflame.mel.go.jp〉