

자동차 연료전지용 연료에 관한 움직임

Fuels and Their Reformation Technology for Fuel Cell Vehicles

이 대 엽 · 한국기계연구원 선임연구원

Daeyup Lee · Korea Institute of Machinery & Materials

지난 1월 8일 토요타자동차와 제네랄모터스는 연료전지 자동차에 관한 기술제휴에 합의하였다고 발표를 했고 여기에는 미국 석유회사 엑슨모빌도 참가하였다. 이 제휴에서 3사는 연료전지용 연료로 가솔린을 개질하여 수소를 얻는 방법을 공동 개발하기로 하였다. 장래에는 수소 자체를 연료로 하는 방법도 고려하고 있으나 당장 현재의 주유소 인프라를 그대로 쓸 수 있기 때문에 가솔린을 선택하였다고 한다.

수소 또는 천연가스의 가스연료, 석유계 또는 메탄올 등의 액체연료 가운데 어느 쪽을 연료전지용 연료로 사용하는가 하는 것은 연료공급 인프라의 구축상태 및 연료전지의 성능에 따라서 다르고 실용적인 개질기(Reformer)의 개발은 사용하고자 하는 연료에 크게 좌우되기 때문에 자동차 연료전지용 연료의 선정은 매우 중요한 과제이다. 본고에서는 자동차 연료전지용 연료의 선정 및 이에 따른 개질 기술의 동향을 간략히 소개하고자 한다.

연료전지 자동차는 이미 시작차를 도로에서 시험주행하는 시점에까지 와있기 때문에 자동차용 원동기로 사용할 수 있는 단계까지 성장했다고 말할 수 있지만 실용화를 위해서는 <표 1>에서와 같이 아직 많은 점들이 개발 및 해결되어야만 한다.

연료전지 자동차의 실용화를 위해서는 연료전지 시스템의 개발뿐만 아니라 자동차와 연료 (또는 연료 공급 인프라)간의 인터페이스 등의 개발이 필요

하다. 연료전지 자동차의 연료를 선정할 때는 연료를 제조할 때의 자원, 코스트, 효율, LCA, 수송, 저장 방법, 공급인프라, 사고시의 리스크, 자동차에의 탑재성 및 가반성 등이 중요한 요건으로 검토되어야 한다. 또한 탑재 상태에서 개질 수소를 제조할 때에는 개질 효율, 시동성, 부하응답성 등도 검토의 요건이 된다. 이러한 연료의 문제는 국가의 에너지 정책과도 관련이 있어 21세기 연료에 관한 에너지절약 및 대체에너지 정책의 하나로서도 매우 중요하다.

연료전지는 연료가 갖고 있는 화학에너지를 직접 전기에너지로 변환이 가능한 고효율 에너지 변환기술으로써 기본적으로는 수소와 공기중의 산소를 이용하여 $H_2 + 1/2O_2 = H_2O + 2.4eV$ 의 반응식에 의하여 전기 에너지를 얻는다. 그러나 자연계에 단체로써

<표 1> 연료전지 자동차의 실용화를 위하여 해결되어야 할 과제

과 제	내 용
소형 경량	차체 밑에 수납이 가능한 소형경량의 개질 장치
단시간 기동	기술적 난이도가 높은 오토써멀 개질기의 개발이 필요
개질 조건의 최적화	개질 반응과 운전조건의 최적화 (열공급, 촉매, 제어, 가스조성, 탄소적출, 원전산화, 효율 등)
반반한 기동정지에 대한 내구성	급격한 온도상승과 가혹한 히트사이클 (500~3,000회/년)에 견디는 촉매와 부품의 내구성
주변 온도 변화	-40~80도의 환경온도, 개질용 물탱크의 동결방지
발전장치 신뢰성	무사고 운전
내진동 대책	내진동 설계
발전장치 코스트	\$50/kW 이하



는 대량으로 존재하지 않는 수소를 어떻게 효율적인 원래의 연료(이하 원연료)로부터 발생시키는가 하는 것이 연료전지용 연료에 있어서의 포인트가 된다.

연료전지는 이온화 전해질에 따라 고체분자형(PEFC), 인산형(PAFC), 용융탄산염형(MCFC) 및 고체산화물형(SOFC) 등으로 분류되지만 각 타입에 따라 <표 2>와 같이 이용 가능한 원연료가 다르다.

또한 다이렉트메탄올 형 연료전지(DMFC)와 같이 직접 연료를 셀에 투입하는 것이 가능한 타입도 있다. 그러나 현재 가장 주목받고 있는 자동차에 탑재가 가능한 고체분자형 등에서는 기본적으로는 수소가 연료 에너지가 된다. 현재 공업적으로 사용되고 있는 수소는 대부분이 석유, 천연가스 등의 탄화 수소를 원연료로써 $C_nH_m + 2nH_2O = nCO_2 + (2n + m/2)H_2$ 와 같은 기본반응식(개질 반응)에서 얻고 있다.

SOFC와 같은 고온에서 작동하는 연료전지에서는 연료가 전지 내부에서 개질되기 때문에 직접 연료를 셀에 공급하는 것이 가능하게 된다(내부개질). 한편으로 고체분자형과 같은 저온 작동의 연료전지에서는 전지에 공급하는 수소를 얻기 위하여 전단에서 개질반응을 수행하는 연료처리가 필요하게 된다. 향후의 기술혁신에 의하여 이동체용의 연료전지로서

는 SOFC와 같은 내부개질형 및 직접 연료를 이용이 가능한 DMFC가 원리적으로 유리하다고 예측되고 있다.

연료전지의 원연료로서는 석유를 대표로 하는 액상탄화수소 및 천연가스 등의 가스상 탄화수소 및 메탄올 등의 합성연료가 대표적이다. 원연료는 에너지 자원으로써 기본적으로 중요한 특성인 자원량(안정 공급성), 특성, 공급인프라의 정비상황, 환경적합성 그리고 종합에너지효율 등의 전제조건을 만족시켜야만 한다. 연료전지는 질소산화물, 유황산화물 및 소음도 거의 발생하지 않고 셀 본체로부터의 배기 물질은 물밖에 없지만 개질의 단계에서 원연료로부터 수소를 꺼내는 과정에서 탄산가스를 발생시킨다. 그러나 연료전지를 자동차에 사용한 경우에 연비는 예를 들어 가솔린 환산으로 최저로도 35km/L 이상이 될 것으로 예상되어 연비의 향상에 의한 탄산가스의 대폭적인 삭감효과가 기대된다. 또한 원연료에 포함되어 있는 유황분 등의 미량의 불순물은 개질을 할 때에 촉매의 피독효과가 되기 때문에 거의 완전하게 제거하는 것이 요구되고 있다.

그러나 원연료를 채굴, 가공, 수송하여 국내에서 유통을 거쳐 연료전지에 사용되기까지의 연료효율

<표 2> 이온화 전해질에 따른 연료전지의 분류 및 이용 가능한 원연료

	고분자고체형(PEFC)	인산형(PAFC)	용융탄산염형(MCFC)	고체전해질형(SOFC)
전해질	고분자 이온 교환막	인산	용융탄산염	고체전해질 (지르코니아)
셀작동온도	100도 이하	약 200도	약 650도	약 1,000도
연료	粗製수소 (불순물을 억제할 필요)	粗製수소 (불순물에 둔감)	† 수소 (불순물에 둔감)	粗製수소 (불순물을 억제할 필요)
원연료 (개질에 의한 粗製수소를 발생)	수소, 메탄올, 천연가스, LPG, 납사, 등유	수소, 메탄올, 천연가스, LPG, 납사, 등유	수소, 메탄올, 천연가스, LPG, 납사, 등유 (중유, 석탄도 이용가능)	수소, 메탄올, 천연가스, LPG, 납사, 등유 (중유, 석탄도 이용가능)
발전효율	40% 이상	35~45%	45~55%	50%
용도 예	자동차 탑재 가능, 가정용 열병합발전 전원	열병합발전 전원	열병합발전 전원 대규모전력사업용	열병합발전 전원 전력사업용 등

인, 소위 Well to Tank의 종합효율을 고려하여야만 한다. 즉, 연료전지 자동차만의 제로 에미션의 달성은 본질적인 지구적 환경대책이라고는 말할 수 없다. 석유, 천연가스 및 메탄올의 종합효율의 시산예를 <표 3>에 나타내었다. 일본에서는 천연가스를 수입할 때 액화시키기 때문에 에너지 손실이 발생한다. 또한 메탄올에서는 천연가스 원료로부터 메탄올을 합성할 때에 최대 70% 정도의 에너지 효율이 된다. 이 결과를 보면 연료효율(Well to Tank)은 가솔린 연료전지차의 경우에 가장 높게 나옴을 알 수 있다.

<표 3> 종합에너지(Well to Tank) 효율

	연료효율(%)	주행효율(%)	종합효율(%)
가솔린 내연기관	85	23	20
하이브리드 (장래)	85	36	31
수소연료전지차 (천연가스전 현지 개질)	53-56	50	28-28
메탄올연료전지차 (천연가스전 현지 메탄 올 제조)	63 61	36 39	23 24
가솔린 연료전지차	85 88	36 39	31 34

가솔린의 경우에 연료전지용 연료로써 요구되는 특징인 수소를 빼내기 쉬운 것, 즉 연료 개질의 용이성을 감안한다면 수소가 많은 파라핀분을 증가시키는 것이 바람직할 것이다. 또한 반응속도도 기본적으로는 열분해 반응이기 때문에 연료의 평균 비등점의 저하에 따라 반응속도가 현저히 증가하게 된다. 또한 연료설계의 관점에서는 분기한 이소파라핀 등을 이용한다면 옥탄가도 확보 가능하기 때문에 기존의 가솔린 엔진 내연기관과 공용의 연료로서도 이론적으로는 가능하게 된다.

연료전지자동차의 본격보급시기가 2010년 이후로 예측되고 있는 페이스를 감안한다면 제품 특성의 제어가 용이한 GTL과 같은 합성석유를 이러한 용도로

쓰는 것도 유망할 것으로 생각된다. GTL은 천연가스를 원료로 하여 Fischer-Tropsch법에 의하여 탄소를 임의의 수로 결합시켜 얻을 수 있는 탄화수소액체연료이고 공급 소스의 다양화가 가능하기 때문에 장래 유망한 에너지원으로써 기대되고 있다. 천연가스, 디메틸에테르(DME), LPG, 납사 등도 장래의 연료전지 자동차용 연료로 검토되고 있다. 천연가스와 DME의 개질에는 수증기개질반응이 이용되고 있고 DME의 개질은 섭씨 300도 정도에서 가능하다.

일본에서 연료전지 자동차의 시험법 등 표준화에 관해서는 밀레니엄 프로젝트의 일환으로서 NEDO(신에너지 산업기술종합개발기구)의 연료전지 보급 기반정비 사업과 고효율 연료전지 시스템 기반기술 개발사업이 2000년부터 실시되고 있다. 이를 통하여 안전성 및 성능 등의 평가 시험법, 연료 품질 규격 등을 확립하고 일본 국내외의 기준 및 표준화의 제정에 의하여 용이한 보급이 가능한 여건을 만들고자 하고 있다.

닛세키미쓰비시(日石三菱)에서는 1986년부터 납사 및 등유를 원연료로 하는 200kW급 PAFC의 실증시험을 행한 실적이 있다. 독자적으로 개발한 개질 촉매에 의하여 납사에서는 만8,000시간의 장기연속운전을 달성하였다. 이러한 실적에 따라 1999년부터 납사를 원연료로 한 수 kW의 PEFC의 실증시험을 개시하고 있다. 닛세키미쓰비시와 다임러클라이슬러 그리고 마즈다의 공동 프로젝트로서 2001년에 세계에서 처음인 온보드 개질 타입의 연료전지 자동차의 시험주행을 일본내 요코하마지구를 거점으로 하여 실시한다. 여기서 장래의 보급을 향하여 연료전지자동차의 성능, 기초 데이터 및 원리검증 등을 수행한다.

<이대엽 편집위원 : daeyup@kimm.re.kr>