

Thema | 연료전지 자동차(FCEV)의 기술동향

김 귀 열 교수
(한국기술교육대 정보기술공학부)

1. 서론

지구의 온난화가 심각해지면서 자동차에서 나오는 이산화탄소(CO₂)의 문제가 부각되고 있다.

이에 따라 높은 연료 효율과 저공해의 친환경 차량 개발이 거스를 수 없는 대세로 자리 잡고 있다.

최근 전 세계 자동차 회사들은 차세대 '친환경 자동차' 개발에 열을 올리고 있다. 우리나라도 얼마 전 현대자동차가 전기와 휘발유를 함께 사용해 연비를 개선하면서 동시에 배출가스를 획기적으로 줄인 '하이브리드 자동차'를 선보였다.

현재 사용하는 자동차는 내연기관에서 생산하는 동력을 이용해 구동된다. 자동차가 가속된 후에 신호등을 만나거나, 내리막길을 주행할 때는 자동차가 갖고 있는 운동에너지를 브레이크를 이용해 열에너지로 변환한 뒤, 공기 중으로 버려야 하는 점이 단점으로 꼽혀왔다.

하이브리드 자동차는 이런 단점을 보완하기 위해 자동차 제동시 브레이크를 사용하는 대신 발전기를 사용해 자동차의 운동에너지를 전기에너지로 변환함으로써 축전기 등에 임시로 저장해 둔다. 임시로 저장된 전기 에너지는 자동차를 다시 가속할 때, 전동기에 공급해 동력을 얻게 해 연료 사용량을 줄여준다. 하이브리드 자동차는 휘발유를 일반 자동차에 비해 15~50%까지 절감할 수 있고 차에서 나오는 배출가스도 훨씬 적다.

최근 미국 에너지부는 2010년에는 하이브리드차가 전체 자동차의 25%, 연료전지 자동차는 4.5~11%를 차지할 것으로 내다봤다. 2030년 이후에는 휘발유 자동차가 아예 지구촌에서 사라질 것이라는 전망마저 내놓고 있다. 자동차 업체들이 친환경차 차량을 만들기 위해 고심하고 있는 것도 이같은 관측과 무관치 않아 보인다.

현재 하이브리드 차량 부문에서는 일본 업체들이 매우 앞서가고 있다. 지난 1997년 도요타자동차와 혼다는 세계 최초로 하이브리드차를 개발하는 데 성공하는 등 강세를 이어가고 있다. 도요타의 하이브리드차인 '프리우스'는 지금까지 모두 20만대가 시판됐을 정도다.

하지만 하이브리드 차는 대개 시속 40km 이상 속도로 달리면 휘발유 엔

진만 사용하기 때문에 고속으로 장거리를 운전할 때는 별다른 장점이 없다. 또 같은 성능의 휘발유차 보다 값이 비싸 아직은 전 세계 자동차 판매량의 0.5%에도 미치지 못하는 실정이다.

그럼에도 불구하고 세계 자동차 회사들은 머지않아 하이브리드 차가 세계 시장을 주도할 것으로 판단, 많은 투자를 하고 있다. 도요타는 내년부터 10개 모델의 하이브리드차를 개발해 1년에 30만대 이상씩 판매한다는 계획이다. 혼다는 곧 중형차인 '어코드 하이브리드'를 내놓을 예정이다.

미국 자동차 회사인 포드는 2010년까지 하이브리드 차가 새로 내놓는 차량 가운데 20% 이상을 차지할 것으로 내다보고 있다. 또 다른 미국 자동차 회사인 GM은 연료전지차를 2010년까지 시장에 내놓는다는 전략을 가다듬고 있다.

우리나라 자동차 회사들도 미국, 일본에 뒤처지지 않기 위해 노력하고 있다. 현대자동차는 지난 1995년 제1회 서울모터쇼에 최초의 하이브리드차인 'FGV-1'을 선보였고, 1999년부터 아반떼·베르나·클릭 등 현대차에서 생산하는 차들의 하이브리드 모델을 만들고 있다. 현대차는 2004년 10월에 시범적으로 '클릭하이브리드' 50대를 환경부에 납품했고, 내년 말부터 하이브리드차를 대량 생산하기로 해 우리나라에도 본격적인 하이브리드차 시대가 열릴 전망이다.

또 다른 친환경 자동차로 연료전지자동차를 들 수 있다. 연료전지의 에너지원인 연료에는 수소, 메탄올, 가솔린 등이 이용될 수 있지만 메탄올 가솔린의 경우에는 수소발생 장치가 추가돼야 하는 기술적 난제와 고비용 문제 때문에 단순히 수소를 연료로 주입한 자동차가 현재의 모델이다. 물을 전기분해하면 수소와 산소가 나오며 이러한 과정을 역으로, 수소와 산소를 결합시키면 물과 전기가 발생하는데, 이 때 발생한 전기를 이용해 모터를 구동하는 방식의 차량이 바로 연료전지자동차이다.

연료전지는 수소와 공기만 공급하면 전기에너지를 끊임없이 만들어내는 반면 물 이외에는 전혀 공해물질을 배출하지 않기 때문에 친환경성과 대체에너지의 조건을 완벽하게 만족시킨다. 세계 각국이 연료전지 자동차를 환경친화적 미래형 자동차의 최

종적인 목표로 삼고 있는 것도 이 때문이다.

2. 신에너지 자동차

유가가 100달러로 치솟는다고 가정하면, 자동차 유지비를 감당할 수 없는 수준이 도래할 것이다. 또 이산화탄소 배출량을 규제하는 교토의정서서가 발효되면 현행 휘발유차는 규제를 받게 된다. 이 같은 고유가나 이산화탄소 배출문제를 해결하기 위한 미래형 자동차가 연료전지자동차다.

BMW는 1978년부터 수소연료 자동차를 개발, 수소연료와 휘발유를 함께 쓰는 750hL을 개발했다. 750hL의 주행거리는 900km, 750hL에는 수소연료 탱크와 휘발유 탱크가 함께 탑재돼 있다. 수소연료만으로는 300km를 주행할 수 있으며, 최고속도는 215km까지 낼 수 있다.

BMW는 2000년에 750hL 15대를 제작, 이미 17만 km의 주행성능시험을 마친 상태다. 연료전지자동차의 작동원리는 휘발유대신 수소를 연료를 사용하는 것이다. 수소연료는 휘발유보다 에너지 함유량이 세 배나 높아 적은 연료로 더 높은 성능을 나타낼 수 있다. 수소연료의 가격은 휘발유보다 2배정도 비싸지만, 연비로 따지면 비슷한 수준이다.

연료전지 자동차는 다양한 장점 중 특히 이산화탄소를 배출하지 않는다. 수소 연료가 연소되고 나면 물밖에 남는 게 없기 때문이다. 또 수소연료는 이론상 물에서 얼마든지 얻을 수 있다. 다만 수소연료 탱크는 기체인 수소를 섭씨 영하 253도까지 끌어내려 액화상태로 유지해야 한다는 문제점이 있다.

이 때문에 자동차를 조금이라도 운전하지 않으면 냉장상태의 액화수소가 기화되면서 연료가 썰 수 있다. 현재기술로는 12일 동안 주행하지 않아도 액화수소 연료가 새지 않도록 설계됐다.

또 다른 문제는 수소연료인프라다. 수소연료 주유소를 많이 세워야 하는 부담이 있다. 100년전 자동차 오너들이 휘발유를 약국에서 사야했듯이, 지금은 생소한 수소연료 주유소를 몇십년 후에는 흔히 볼 수 있게 될지 모른다.

볼보자동차도 최근 미래의 자동차가 갖추어야 할 전기콘셉트카 3CC를 공개했다. 2004년 10월 12일 중

국 상하이에서 선보인 이 콘셉트카의 가장 큰 특징은 완전 무공해라는 것, 특히 3CC의 내부 전기 에너지를 저장하는 역할을 하는 “더블 플로우”는 어떤 연료도 수용할 수 있도록 설계됐다. 3CC는 캘리포니아에 있는 볼보자동차 콘셉트 센터 VMCC(Volvo Monitoring Concept Center)의 기술자, 디자이너, 마케팅 전문가 등 볼보자동차의 두뇌들이 모여 만들어진 야심작이다. 2인승 스포츠카 크기인 볼보 3CC는 앞좌석에 성인 2명이, 뒷좌석에는 성인 1명 또는 어린이 2명이 탈 수 있도록 디자인 됐다. 타고 내리기 쉬운 걸 윙(Gull wing)도어를 채용하고, 뒷좌석에는 슬라이딩 시트를 장착한 것이 특징이다. 그러나 최고속도는 아직 135km에 불과하고, 주행거리 역시 300km를 조금 넘는 게 단점이다.

가장 먼저 상용화된 차는 석유(휘발유, 경유)엔진과 전기모터를 번갈아 사용하는 방식의 하이브리드카(Hybrid Car)다. 도요타는 1997년 하이브리드카 프리우스의 양산에 들어갔고, 1999년 혼다가 인사이트를 출시했다. 미국에선 포드가 지난 8월 SUV 이스케이프의 하이브리드 모델 시판에 들어갔다. 국내에선 현대자동차가 지난 10월1일 국내 최초 “하이브리드 클릭”을 발표했다. 이어 GM대우자동차도 10월18일 하이브리드카 “S3X”를 전격 공격했다. 쌍용차는 디젤 하이브리드카를 개발 중이다.

현대자동차가 개발한 하이브리드 클릭은 연비가 18km/ℓ 로 휘발유만 사용하는 클릭(12.1km/ℓ)보다 50% 높다. 속도도 최고 시속 161km까지 달릴 수 있고, 시속 60km에서 100km까지 가속하는 데 7.9초가량 걸려 가정용이나 일반 업무용으로 써도 큰 불편이 없다. 현대자동차는 2006년부터 일반 소비자들에게 판매할 예정이다.

3. 국내기술현황

현대자동차가 2004년 10월1일 클릭 하이브리드카 50대를 생산하여 환경부에 팔았다. 이차들은 경찰청 업무용차로 지원돼 서울거리를 누비며 시범운전에 들어갔다. 이는 세계 자동차업계가 사활을 걸고 있는 차세대 친환경차시장에 첫발을 내디뎠다는 점에서 의미가 크다.

하이브리드카는 전기자동차보다는 한 단계 발전된 기술이지만 미래 자동차시장 최후의 승부처인 연료전지자동차 양산기술 개발을 위한 과도기 단계란 게 정설이며, 20-30년 뒤부터 기존의 석유엔진을 대체할 연료전지 자동차시장에 진출하기 위한 현대자동차의 대장정은 이제 시작인 셈이다.

환경부에 공급된 클릭 하이브리드카 50대는 현대가 2003년5월부터 16개월간 106억원, 대당 약 2억원을 들여 생산했다. 이 차의 가장 큰 특징은 연비가 18.0km/ℓ 로 기존 가솔린엔진차(12.1km/ℓ)에 비해 50%나 높아졌다는 점, 동력원은 가솔린엔진, 전기모터, 배터리를 함께 사용했다. 출발이나 가속 때는 배터리와 전기모터의 힘을 빌리고, 고속주행중에는 휘발유를 쓰는 방식이다. 이로써 연비와 출력을 동시에 높이면서 유해가스는 획기적으로 낮췄다.

현대기아자동차는 2005년말에는 연비를 더욱 향상시킨 MC(베르나 후속모델)하이브리드카의 소량 생산을 거쳐, 2006년말에 본격적인 하이브리드카 대량생산을 통해 일반인을 대상으로 시판한다는 계획이다. 또 2010년까지 3,000억원을 추가 투자, 연간 30만대 규모의 하이브리드카 양산체제를 갖출 계획이다.

하이브리드카분야에서 세계적으로 가장 앞선 메이커는 토요타다. 이 회사는 1997년부터 세계 처음으로 일반소비를 대상으로 프리우스 하이브리드카를 팔고 있다. 현대자동차는 토요타에 비해 8-9년 정도의 기술격차가 있으나 후발주자의 잇점을 활용, 이격차를 줄여 나간다는 전략이다.

현대기아자동차는 1990년대 초부터 친환경자동차의 개발에 나서 1999년 스포티지 전기자동차, 2000년 싼다페 전기자동차를 선보였다. 싼다페 전기자동차는 미국 하와이에서 2년간 시범운행을 거쳤으며, 2003년11월부터 제주도에서 시범운행을 시작했다.

완전 무공해자동차인 연료전지 자동차분야에선 2000년 스포티지, 2001년 싼다페 연료전지 자동차를 개발했다. 2004년 4월에는 미국정부로부터 미래자동차 시범운영자로 선정돼 향후 5년간 투싼과 스포티지 연료전지 자동차를 미국 주요도시에서 시범운행할 예정이다.

한편 무한자원인 수소와 산소의 화학반응으로 전기에너지를 얻어 차를 굴리는 연료전지 자동차의 양산 및 대중화에는 세계적으로도 향후 20-30여년의 기간이 걸릴 것으로 전문가들은 예측하고 있다.

현대·기아자동차가 2004년 11월부터 미국에서 연료전지차를 시범운행하게 되었다. 미국 정부 에너지성(DOE)이 주관하는 '연료전지차 시범운행 및 수소 충전소 인프라 구축' 사업의 시행사로 선정되어 미국에서 연료전지차 시범사업에 참가하게 된 것이다. 이로써 현대·기아차는 차세대 환경 자동차 개발분야에서 세계적인 기술력을 인정받게 되었다

현대·기아차가 이번 시범운행에 투입시킬 투싼 연료전지차는 기존 신타페 연료전지차의 후속모델로, 지난 2년의 연구개발 기간을 통해 지난 3월 제네바모터쇼와 4월에 열린 뉴욕모터쇼에서 일반에게 처음 공개되었다.

투싼 수소 연료전지 자동차의 연료전지 시스템은 그동안 자동차 밑부분에 설치했던 예전의 신타페 연료전지 자동차와는 달리 엔진룸에 얹혔고, 출력도 신타페의 75kW보다 80kW로 향상되었다. 특히 투싼 연료전지 자동차는 영하에서도 시동 및 운행이 가능하도록 '냉(冷) 시동' 문제가 해결되어 연료전지 자동차 실용화에 한 단계 다가간 차로 평가받고 있다.

현대·기아차는 이번 연료전지 자동차 시범운행을 통해 2010년까지 양산 가능한 상품성을 확보하는데 주력할 계획이다. 이를 위해 영하에서 운전이 가능한 고출력 연료전지 시스템, 주행거리 증대를 위한 고압 수소저장시스템, 차세대 배터리 등의 신기술을 다양한 실제 도로 및 기후조건에서 평가하게 된다. 또한 신기술 적용으로 운전성능 향상, 차량 동력 및 출력 증가, 300km 이상의 주행거리 확보가 가능할 것으로 기대하고 있다.

< 현대자동차의 연료전지차 개발 주요 이력 >

- 2000년 6월 미국 캘리포니아 연료전지 시범사업(CaFCP) 참여
- 2000년 11월 CaFCP에서 신타페 연료전지 자동차 발표
- 2001년 6월 세계 최초 350기압 수소충전(CaFCP)
- 2001년 10월 2001 미쉐린 챌린지 비벤덤에서 2개의 금메달 수상

- 2002년 9월 CaFCP의 최초 로드 랠리 참가
- 2002년 10월 일본 연료전지 상업화추진 멤버로 참여
- 2003년 9월 미쉐린 챌린지 비벤덤에서 5개의 금메달, 3개 은메달 수상
- 2004년 10월 냉시동 및 운전 가능한 투싼 연료전지 자동차 개발
- 2004년 11월 투싼 연료전지 자동차 시범운행

4. 연료전지 자동차 개발로 무게중심 이동

세계 최대의 자동차 메이커인 GM은 오는 2005년부터 2년간 하이브리드 자동차의 출시를 중지한다고 발표했다. GM은 이를 대신해 보다 환경 친화적인 모델로 인식되는 연료전지 자동차 개발에 집중할 것이라고 밝히기도 했다. 포드 역시 지난해 말 하이브리드 자동차의 출시 계획을 보류하고 대신 연료전지 자동차 개발에 집중할 것이라고 선언했다.

GM을 비롯한 미국의 '빅3' 과 유럽자동차회사들은 연료전지 자동차에 승부를 걸고 있다. 연료전지 자동차는 압축수소를 활용한 연료전지에서 동력을 얻어 운행하는 자동차로, 배기가스가 전혀 배출되지 않는다는 특징을 갖고 있다. 물의 전기분해 과정이 거꾸로 일어나는 연료전지자동차는 수소와 산소를 화학적으로 반응시켜 발생하는 전기 에너지로 움직인다. 여기에 연료전지와 배터리를 조합시킨 하이브리드 형태를 통해 제동 때 에너지는 배터리로 회수하고 가속 때 배터리의 에너지를 사용해 연비효율과 동력성능을 극대화한 자동차이다.

수소를 이용한 연료전지 자동차는 에너지 효율이 매우 높고 완전 무공해 차라는 점 때문에 GM과 도요타 등 자동차 시장에서 선두를 달리고 있는 업체들이 앞 다투어 수많은 인력과 기술력을 투입하고 있다.

한동안 환경자동차의 대안으로 각광을 받았던 하이브리드 자동차의 무게 중심으로 연료전지 자동차로 옮겨지고 있는 것이다. 그러나 각국의 자동차업체들은 지금까지 개발한 하이브리드 기술을 연료전지 자동차와 혼합해서 사용하는 방안을 모색 중이다. 결국 연료전지 기술을 이용한 하이브리드 자동차 개발로, 한 단계 업그레이드되어 진행되고 있다고 보아야 할 것이다.

연료전지 자동차의 본격적인 양산도 그리 먼 얘기가 아니다. 이미 시험생산을 시작한 데도 있다. GM은 지난해 6월 픽업트럭인 '시보레'를 개조해 만든 연료전지 자동차(S-10)로 시속 25마일까지 속도를 내는데 성공했다. 지난 2002년 1월 미국에서 열린 디트로이트 모터쇼에서 처음 발표한 연료전지 컨셉트카 '하이-와이어'의 양산계획도 계속 추진되고 있다.

다임러크라이슬러는 지난해 유럽 10개 도시에서 연료전지 버스를 내놓을 예정이라고 발표했고, BMW도 앞으로 5년 안에 유럽의 일반고객들이 살 수 있는 연료전지 승용차를 생산하게 될 것이라고 발표했다.

이처럼 앞으로 연료전지차가 본격적으로 시장에 진출하게 되면 그동안 100년을 넘게 자동차의 심장 역할을 해왔던 내연기관이 없어지는 엄청난 변화가 일어나게 된다. 이는 자동차산업 뿐만 아니라 철강과 에너지 등 관련 산업에까지 큰 지각변동을 일으킬 것으로 보여 연료전지 자동차의 등장을 바라보는 시각이 더욱 뜨거워지고 있다.

5. 세계 각국의 연료전지 자동차

5.1 도요타 FCHV

도요타는 세계에서 가장 최초로 1997년 '가솔린+전기' 형태의 하이브리드 자동차인 '프리우스'를 개발, 상용화해 이미 세계시장에 10만대 이상 공급하고 있다. 그후 지난 2002년부터 연료전지 자동차 개발을 시작해 현재 하이랜더를 기본 모델로 한 FCHV(Fuel Cell Hybrid Vehicle)를 개발해 소량 시험생산을 하고 있다.

FCHV는 고출력과 조용한 주행성능을 확보하기 위해 자체 개발한 90kW 연료전지와 21kW 니켈수소 배터리를 동력원으로 사용하는 하이브리드 동력제어 기술을 적용했다. 최고 속도 153km/h, 항속거리 249km까지 발휘한다.

5.2 혼다 FCX

혼다 역시 지난 2002년 7월에 미국 캘리포니아주로부터 FCX(Fuel Cell eXperiment)의 판매인가를 받았다. 혼다의 전기자동차 '플러스'를 기본 모델로

개발한 FCX V4는 연료전지 및 슈퍼 캐퍼시터 하이브리드 시스템을 적용해 발전 가속성능과 에너지 효율을 더욱 향상시켰다.

약 350 기압의 고압수소를 충전해 350km의 1회 충전 주행거리가 가능하며, 최고속도 150km/h, 최고출력 82마력을 발휘하며 연료전지 스택은 78kW를 적용했다.

5.3 GM 하이드로젠

GM은 독자기술로 개발된 연료전지를 얹은 '자피라 밴'을 기본 모델로 해 '하이드로젠'을 지난 2001년 발표했다. 올해 양산 예정인 하이드로젠은 오는 2010년부터 일반인에게 시판할 계획이다. 또한 GM의 최고 야심작으로 불리우고 있는 하이 와이어(Hy-wire)는 지난 2002년 새로운 개념의 오토노미(Autonomy) 플랫폼을 베이스로 한 4도어 타입의 연료전지 스포츠카로 발표해 화제를 모았다. 하이 와이어는 최고속도 169km/h까지 낼 수 있으며, 바이 와이어 방식을 적용해 모든 브레이크, 스티어링, 액셀러레이터 등의 중요 부품을 전기적으로 제어할 수 있다. 이 차 역시 2010년 상용화를 계획하고 있다.

5.4 다임러크라이슬러 F-Cell

다임러크라이슬러는 1994년 캐나다 발라드사의 50kW급 연료전지 스택을 얹은 NECAR(No Emission Car) 1을 시작으로 지난 2001년 개발한 NECAR 5까지 상용화를 위한 기술개발을 완료했다. NECAR 5는 75kW, MK900 발라드식 연료전지 스택을 적용한 메탄을 개질식이며 지난 2002년 5월, 16일간 5천249km 시험 주행을 성공해 관심을 모았다. 이때 최고속도 145km/h, 평균속도 61km/h를 기록했다.

그후 다임러크라이슬러는 지난 2002년 벤츠 A 클래스를 기본 모델로 개발한 연료전지 자동차 'F-Cell'을 발표했다. 85kW의 스택을 자동차 플로어에 얹어 기존의 차와 같은 승객공간을 확보했으며 350 기압의 고압수소를 이용해 1회 충전으로 150km를 달릴 수 있도록 했다. 다임러크라이슬러는 앞으로 미니밴, 트럭, 버스 등의 연료전지차를 개발하는데 주력할 계획이다.

5.5 BMW 745h

1978년부터 수소 자동차 연구를 시작한 BMW는 수소를 실린더 내에서 폭발시켜 그 힘으로 엔진을 돌리는 내연방식의 수소차를 개발하고 있다. 엔진출력이 현재 개발 중인 친환경자동차 중에서는 가장 높다는 점이 장점이다.

2001년 발표된 V12엔진 7시리즈 750hL의 경우, 184마력, 최고속도 215km/h를 자랑하며 1회 연료주입 후 주행거리가 300km에 달해 실용화 가능성을 점치게 했다. BMW는 그해 750hL로 유럽, 아시아, 북미, 오세아니아 주요 도시를 순회하는 17만km 대장정을 성공적으로 마쳤다. 최근에는 수소 엔진을 장착한 745h 모델을 발표하고 대체에너지 차량 상용화 준비에 열중하고 있다. 현재 BMW는 액화 수소 자동 충전소 시스템 개발을 완료하고 독일 뮌헨공항에서 서비스를 실시하고 있다.

6. 전기자동차와 연료전지자동차 비교

연료전지 자동차도 일종의 대체에너지를 이용한 전기자동차이지만 축전지 구동 전기자동차와 구분하기 위하여 축전지 구동 자동차를 전기자동차로 기술하여 연료전지 자동차와 구분한다. 연료전지 자동차와 비교할 수 있는 대상은 축전지 구동 전기자동차이다. 전기자동차로부터 직접 배출되는 매연의 수준은 연료전지 자동차에 비해 매우 낮다. 전기자동차에 대한 주요 공해원은 축전지를 충전하는데 필요한 전기를 생산하기 위해 생기는 발전소에서의 공해이다. 따라서 충전을 위한 전력을 무공해 발전 방식인 태양광, 풍력 그리고 수력을 이용한 발전을 하였을 경우에만 전기자동차의 공해량이 연료전지 자동차의 공해량보다 낮은 수준이 된다.

이와 같이 전기자동차의 실용화는 전세계적으로 그 필요성이 인정되어 있지만 지금까지는 기술개발, 표준화, 시험안, 국가지원, 인프라 연구 등 여러 가지 전기자동차 관련분야 중에서 오직 기술개발만을 목적으로 모든 연구가 진행되어 왔었다. 그러나 차량이 양산체제에 돌입하고 시판까지 이르기 위해서는 개발품에 대한 성능의 객관적인 평가가 무엇보다 필요하고 이는 개발자뿐만 아니라 소비자들에게도 중

요한 것이다.

연료전지 자동차는 전기 자동차와 거의 특성이 비슷하여 구동 방법상 근본적인 차이는 없다. 다만 구동원을 위한 에너지원으로써 연료전지 자동차는 순수 수소 혹은 개질 수소를 사용하여 발생하는 전력을 사용하고, 전기자동차는 보통 발전소에서 공급하는 전력을 사용한다는 점이다.

표 1. 전기자동차와 연료전지자동차 비교.

구분	전기자동차	연료전지자동차
구동방법	전동기	전동기
동력원	발전소 공급전력	순수수소 또는 개질수소에 의한 자체 전원
환경오염 문제	화력발전소의 유해가스 및 다량의 축전지 사용	개질과정에서 극소량 발생
공해정도	가솔린 차량보다 심각	진정한 무공해 차

7. 연료전지자동차용 연료전지

연료전지자동차는 연료전지 종류, 사용하는 연료, 연료 개질방법, 연료 저장방법, 보조 동력원의 종류 등에 따라 여러 가지 형태로 개발되고 있다. 연료전지로는 고분자전해질 연료전지 (PEMFC), 인산 연료전지 (PAFC), 알칼리 연료전지 (AFC), 직접메탄올 연료전지 (DMFC) 등이 있지만, 고분자전해질 연료전지가 출력밀도, 상온작동성, 내충격성, 수명 등이 다른 연료전지에 비해 우수하기 때문에 현재 가장 많은 주목을 받고 있다. 즉, 고분자전해질 연료전지는 효율이 높고 전류밀도 및 출력밀도가 크며 시동시간이 짧은 동시에 부하변화에 대한 응답특성이 빠른 특성이 있다.

특히 전해질로 고분자막을 사용하므로 부식 및 전해질 조절이 필요 없고, 기존의 확립된 기술인 메탄올 개질기의 적용이 가능하며, 반응기체 압력변화에도 덜 민감하다. 또한 디자인이 간단하고 제작이 쉬우며 연료전지 본체재료로 여러 가지를 사용할 수 있는 동시에, 부피와 무게도 작동원리가 같은 인산 연료전지에 비해 작다. 이러한 특성이외에도 다양한 범위의 출력을 낼 수 있는 장점이 있기 때문에 고분자전해질 연료전지는 무공해자동차의 동력원 이외

에도 현지설치형 발전, 우주선용 전원, 이동용 전원, 군사용 전원 등 매우 다양한 분야에 응용될 수 있다. 다음 표는 연료전지자동차에 적용된 실적이 있는 연료전지의 특성을 나타낸 것이다.

표 2. 자동차용 연료전지의 특성.

구 분	PEMFC	PAFC	AFC	DMFC
출력밀도	◎	×	◎	×
상온작동성	◎	△	◎	○
내충격성	◎	△	△	◎
수명	◎	△	○	×
연료공급용이성	○	○	×	◎
가격	○	×	◎	×
적용건수	17	3	4	2

8. 연료전지자동차 연료

연료전지자동차에 사용되는 연료로는 수소 이외에도 개질에 의해 수소로 전환될 수 있는 메탄올, 휘발유 등이 있다. 수소는 기체수소, 액체수소가 가능하지만 저장방법, 인프라 구축이 문제가 되며 메탄올의 경우 200℃의 가열이 필요한 개질기 및 메탄올 인프라의 구축이 요구된다. 휘발유의 경우 1000℃ 정도에서 작동하는 개질기가 필요하나 기존의 휘발유 인프라를 그대로 이용할 수 있는 이점이 있다.

이러한 개질 방법에는 수증기개질, 부분산화개질, 그리고 이를 복합한 자율개질 (autothermal reforming)이 있다. 자동차에 사용되는 연료전지 스택에서의 수소 소모량은 출력변화에 따라 변화되기 때문에 연료전지자동차용 개질기는 출발 및 순간 응답특성이 좋아야 하고 넓은 전환속도 범위에서 효율적으로 운전되며 완벽한 전환율을 얻을 수 있어야 한다. 또한 연료극 촉매의 피독을 방지하기 위해 연료전지 스택으로 유입되는 반응기체 속의 일산화탄소 농도는 10ppm 이하로 유지되어야 하며, 환경문제를 야기시키지 않도록 배기가스는 공해물질이 거의 완전히 제거된 상태로 공기중에 배출되어야 한다.

고분자전해질 연료전지 대신 직접메탄올 연료전지를 사용하는 경우에는 메탄올을 연료전지에 직접 공급하게 되어 개질기가 필요 없으나 메탄올 산화반

응시 생성되는 일산화탄소 중간체에 의한 전극촉매의 피독현상, 메탄올의 전해질 막 투과현상 때문에 전지성능이 저하되는 문제가 있다. 연료저장 방법에 있어서는 기체수소의 경우 기체실린더나 수소저장 합금에 의해 저장하며 액체수소의 경우 극저온 냉각 실린더에서 저장한다. 메탄올이나 휘발유의 경우에는 기존의 연료탱크를 사용한다. 다음 표는 연료의 저장, 공급방법에 대한 특징을 요약한 것이다.

표 3. 연료공급방법.

구 분	실린더	수소저장합금	개질기
연료공급의 응답성	◎	◎	△
배출물	◎	◎	×
연료적재량의 증량밀도	△	×	◎
연료적재량의 부피밀도	×	○	◎
연료보충의 용이성	×	△	◎
연료저장의 안정성	×	△	◎
가격	◎	○	△
적용건수	12	3	8

한편 시스템을 간략하게 하기 위하여 연료전지만을 단독으로 사용하는 방식은 초기 가속이나 등판에 요구되는 고출력을 담당하는데 문제가 있고 에너지를 회수할 수 없으며 따라서 연료전지 외에 다른 보조 동력원을 병행하여 사용하는 하이브리드 방식이 개발의 주종을 이루고 있다. 하이브리드 방식은 고출력이 요구될 때는 이차전지, ultracapacitor, 플라이휠 등의 보조동력원을 사용하게 되며 여유 에너지를 회수할 수 있어 에너지 효율을 향상시킬 수 있다.

특히 연료전지/이차전지 하이브리드 자동차는 연료전지 및 이차전지의 장점을 이용하는 시스템으로 연료전지는 기저부하를 담당케 하여 정속부하를 공급하고, 이차전지는 시동 및 가속이 피크출력을 담당하게 함으로써 별도의 충전없이 운전이 가능하다는 장점이 있다. 이 경우 연료전지는 연속운전됨으로 이차전지에서 소모된 에너지를 충전시킬 수 있으며 이차전지 문제점중의 하나인 과방전 우려 및 사이클 수명 문제도 해결할 수 있다.

9. 결론

참고 문헌

세계 자동차 업체들은 1886년 독일의 고트리프 다임러와 칼 벤츠가 세계 최초로 휘발유 자동차를 발명한 후, 엔진 성능과 디자인, 연비를 놓고 치열한 경쟁을 벌여왔다. 이제는 친환경자동차 개발이라는 새로운 목표를 향해 돌진하고 있다. 앞으로 10년내 친환경자동차를 생산하지 못하는 자동차업체는 생존이 불가능할 것으로 예견되고 있기 때문이다.

친환경자동차 개발을 서둘러 온 선진 자동차업체 보유국들은 자동차 배출가스 기준을 강화하고 새로운 무역장벽으로 활용할 움직임이다.

이와 함께 이미 고연비, 저공해 친환경차 기술을 보유하고 있는 선진 메이커들은 상호 기술제휴와 개발비 공동부담 등을 광범위하게 추진, 후발업체에 대한 장벽을 더욱 높이고 있다.

최근 우리나라의 자동차산업은 미국 등 세계 시장에서 품질을 인정받음으로써 선진 메이커 대열에 합류할 수 있는 절호의 기회를 맞고 있다.

자동차산업은 우리나라 제조업 전체 생산액의 11%를 차지하고 있으며 직·간접 고용인원도 전체 산업의 7%인 148만명에 달한다. 또 무역수지 흑자도 연간 200억 달러에 이른다.

자동차 산업은 산업연관 효과도 높고, 새로운 산업에 대한 수요 창출과 신기술 상용화에도 중요한 역할을 하고 있다. 친환경차 개발은 자동차산업이 이러한 역할을 계속 수행하는 데 필요한 핵심적인 과제다.

선진국의 경우 미국은 에너지성 주관으로 프리덤카(Freedom CAR)라는 미래차 프로젝트에 5년간 17억달러(약 2조원)를 지원하는 등 정부가 나서 막대한 투자를 하고 있다.

이에 비해 우리나라는 연료전지 자동차에 10년간 2,890억원, 하이브리드카 개발에 7년간 1,280억원 등 선진국에 비해 지원이 크게 부족한 상황이다.

최근 정부는 차세대 국채사업으로 친환경자동차 개발을 선정했으나 보다 구체적이고, 실질적인 민관 합동의 친환경자동차 개발 프로젝트 마련이 절실한 상황이다.

- [1] 김귀열, "연료전지 자동차의 가능성과 기술분석", 대한전기학회 1995년도 하계학술대회 논문집, 7, 1995
- [2] 김귀열, "고체전해질형 연료전지의 기술현황 및 전망", 대한전기학회지, 42, 11, 1993
- [3] 전력연구원, "고체전해질형 연료전지 단위전지 기본기술 개발", KEPRI, 11, 1995
- [4] 김귀열, "연료전지 발전시스템의 기술개발동향", 전기기술동향지, 9, 5, 1996
- [5] 김귀열, "연료전지 자동차용으로 기대되는 PEFC 기술현황", 전기전자재료, 12, 2, 1999
- [6] 김귀열, "전류검출형 가스센서의 기술", 전기전자재료, 14, 7, 2001
- [7] Gregor Hoogers, "Fuel Cell Technology handbook", CRC Press, 7, 2002
- [8] K. Kordesch, "Fuel Cells and Their Applications", VCH, 2, 1996
- [9] J. Larminie, "Fuel Cell Systems Explained", WILEY, 1, 2003
- [10] 김귀열, "고체전해질형 이산화탄소가스 센서 기술", 한국전기전자재료학회지, 11, 12, 1998

저자약력



성명: 김귀열

◆ 학력

- 1982년 조선대 전기공학과 공학사
- 1985년 광운대 대학원 전기공학과 공학석사
- 1989년 광운대 대학원 전기공학과 공학박사

◆ 경력

- 1989년 ~ 2000년 한국전기연구원 과학기술정책연구원 선임연구원
일본 Tohoku대학 일본 Kyushu대학 객원연구원
- 2000년 ~ 현재 한국기술교육대 정보기술공학부 교수
- 현재 한국전기전자재료학회 조사이사