

수소 · 연료전지자동차 안전성 평가 기술개발 기획보고서

2007. 8. 28.

주관연구기관 / 서울대학교

수소 · 연료전지자동차
안전성평가
기술개발
기획보고서

한국건설교통기술평가원
건설교통부

건설교통부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

건설교통부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 “수소·연료전지 자동차 안전성 평가기술 개발을 위한 기획연구”의
기획보고서로 제출합니다.

2007. 08. 28

주관연구기관 : 서울대학교

총 장 : 이장무

■ 총괄연구책임자	/ 교수	민 경덕	기획총괄책임
■ 주관연구기관 참여연구원	/ 교수	김 민수	공동연구
	/ 전임강사	차 석원	공동연구
	/ BK교수	김 한상	공동연구
	/ 박사과정	임 재만	연구보조
	/ 박사과정	방 정환	연구보조
	/ 박사과정	강 상규	연구보조
	/ 석사과정	조 준현	연구보조
	/ 석사과정	김 성욱	연구보조
	/ 석사과정	이 대홍	연구보조
■ 주관연구기관 자문위원	/ 교수	남 광희	전기안전부문
	/ 교수	고 장혁	제도정책부문
	/ 교수	임 성한	차량안전부문
	/ 책임연구원	이 대영	수소안전부문
	/ 책임연구원	이 광범	차량안전/성능부문
	/ 책임연구원	이 재완	차량안전/충돌부문
	/ 선임연구원	오 형석	수소/연료전지안전부문
	/ 선임연구원	김 대광	전기모터안전부문

목 차

1. 배경 및 필요성	1
가. 배경	1
나. 필요성	2
2. 최종목표 및 내용	6
가. 최종목표	6
나. 기술개발 내용	6
3. 국내·외 안전성평가기술 및 기술개발 동향	14
가. 수소연료전지자동차의 개요	14
나. 선진국 안전성평가 기술개발 동향	24
다. 선진국 기술개발 동향	29
라. 국내 기술개발 동향 및 수준	71
마. 특허정보 조사	89
4. SWOT 분석	96
가. 시장/기술의 특징	96
나. 기회/위협 요인	96
다. 강점/약점 요인	97
5. 추진전략 및 방법	100
가. 전략적 목표	100
나. 연구개발 전략	102
다. 사업화 전략	103

6. 연구분야 도출 과정	104
7. 연구분야 및 주요 연구개발 내용	110
가. 목표에 부합되는 연구분야 도출	110
나. 개발목표	110
다. 연구분야별 개발기술 목표	110
8. 소요 예산 추정	139
가. 전체 사업 소요예산	139
나. 연구분야별 소요예산	139
9. 기대효과 및 전망	141
가. 기대효과	141
나. 파급효과	144
10. 참고문헌	146
별첨1 프로그램별 총괄 TRM & 연구분야별 TRM	148
별첨2 총괄 RFP & 연구분야별 RFP	153
별첨3 연구개발비 세부내역서	171
별첨4 회의록	176
별첨5 서명부	188

1. 배경 및 필요성

가. 배 경

- 자동차는 이동수단에서 사회활동 보조 등 현대생활의 필수공간이지만, 도시와 같은 인구 밀집지역에서는 자동차 배기가스에 의한 대기오염, 주행중 발생하는 소음과 같은 환경적인 문제를 발생시키며 또한 지구온난화의 주범인 CO₂를 배출하고 있음
- 자동차 산업은 우리나라의 중요 기간산업을 이루고 있으며, 우리나라는 세계 5위의 자동차 생산국 자리를 차지하고 있으며, 전 세계적으로 기존 화석 연료 고갈 및 공해 배출 문제 등으로 관련 자동차 기술은 하이브리드 및 대체 연료 등의 신기술 개발 경쟁이 치열해 지고 있는 상황임
- 현재의 가솔린, 경유 등의 화석연료를 연료로 사용하는 자동차는 배기가스를 통하여 대기오염원인 NO_x(질소산화물), PM (Particulate matter, 입자상물질), CO(일산화탄소), HC(미연탄화수소) 등을 다량으로 배출하여 심각한 공해문제를 발생시키고 있음
 - 특히 지구온난화의 원인이 되는 CO₂(이산화탄소)를 배출 하게 됨
 - 배기 가스의 저감을 이룰 수 있는 각종 기술 수요가 증대 되고 있음
- 환경규제 강화와 에너지 고갈 문제는 기존의 내연기관, 동력전달장치, 소재 등의 효율강화 뿐만 아니라 대체에너지를 사용하는 차량의 등장을 요구하고 있음
 - 환경친화적인 자동차인 하이브리드 자동차와 연료전지자동차의 개발은 국내 자동차산업의 생존조건이자 미래의 성장동력이 되고 있음
- 하이브리드 자동차의 경우 이미 승용자동차 부문에서는 상업적인 생산과 판매가 이루어지고 있음
 - 우리나라의 경우에는 하이브리드 핵심부품의 국산화 비율이 낮은 등 자동차 선진국에 비해 관련기술 수준이 상당히 떨어지고 있는 실정임
 - 승용차 부분의 각종 하이브리드 관련 기술에 있어서는 일본 등 앞선 기술을 보유하고 있는 국가에서 관련 특허 등을 선점하고 있어 기술 진입이 어려움
- 연료전지자동차의 경우는 일본, 미국 선진국에서도 개발 및 양산초기 단계 정도의 수준에 머물고 있으며, 국내의 경우 현대자동차가 스택, 중요 부품설계기술 등 요소기술 개발에 대한 독자기술력을 확보하고 있음
 - 현대자동차가 개발한 연료전지 자동차는 국내외의 실증사업에 성공적으로

참여하고 있는 등 국내의 연료전지자동차 기술은 선진국과 거의 대응한 수준임

- 수소·연료전지 자동차는 현재 내연기관 자동차와는 달리 고압 또는 액화 수소를 연료를 사용함으로 인하여 화석연료를 사용하는 내연기관 자동차와는 전혀 다른 특성들을 나타내고 있음
 - 고압 또는 액화 수소의 사용으로 인하여 기존 자동차와는 다른 방향의 안전성 확보 문제가 대두
 - 대체에너지, 무공해의 장점으로 각광받고 있는 수소·연료전지 자동차의 차량 주행, 수소, 고전압 및 전자파에 대한 안전성을 확보하기 위하여 기존의 방식과는 다른 별도의 시험평가 절차와 기술개발이 필요함

나. 필요성

- 경제·산업적 측면
 - 자동차는 생활에 편리함을 주는 필수품이기도 하지만, 도시와 같은 인구 밀집 지역에서는 배기가스에 의한 공기 오염, 주행 중 발생하는 소음과 같은 심각한 사회 문제를 발생시키고 있음
 - 환경 관련 국제 합의로서 오존층 파괴를 막기 위해 프레온가스 사용을 규제한 1986년 몬트리올 의정서 이래, 1992년 브라질 리우데자네이루에서 최초로 탄생된 지구온난화 방지를 위하여 화석연료 사용을 감축하자는 국제간의 공동 협약인 기후변화협약이 1997년 일본의 교토에서 최종적으로 채택됨으로써 세계 각 국은 환경 관련 경각심이 고조됨
 - 각종 규제 협약과 일부 선진국의 개별 입법에 의한 무역 규제가 증가함에 따라 높은 수준의 환경기술과 환경친화적 산업구조를 가진 국가들이 지구 환경보전을 명분으로 국제적으로 그린라운드(Green Round)를 결성하고 있으며, 미국의 캘리포니아주를 비롯한 여러 주에서는 무공해 자동차(ZEV; Zero Emission Vehicle)와 저공해 자동차 의무 판매를 포함한 자동차 배기가스 규제를 입법화하고 있어 각국의 자동차 회사는 이에 대응하기 위한 친환경 기술을 개발해야 하는 어려움에 직면하고 있음
 - 한국 자동차산업도 생존하기 위해서는 현재 북미의 배기가스 규제, 캘리포니아주의 ZEV 의무 수출 및 유럽연합의 이산화탄소 규제 등에 대응할 수 있는 친환경 자동차의 개발이 필수적이고 연료전지자동차의 개발은 친환경자동

차 개발의 핵심적 요소라 할 수 있음

- 우리나라 자동차 산업은 제조업의 10%를 차지하며 자동차 관련 부품 산업은 2000년 약 19.8조원 규모로 국내 부품 산업 전체의 4.8% 차지하며, 2010년 7.5%로 예상됨
- 연료전지자동차의 개발은 이러한 기존 자동차 부품 산업계에 변동을 수반할 것으로 예상되며, 연료전지자동차와 관련된 연료전지 운전장치 시스템의 핵심부품 및 기술을 조기 개발함으로써 기술 경쟁력 강화 및 핵심 기술에 대한 해외 의존도를 탈피함으로써 핵심기술의 선점에 따른 새로운 산업수요 창출 가능

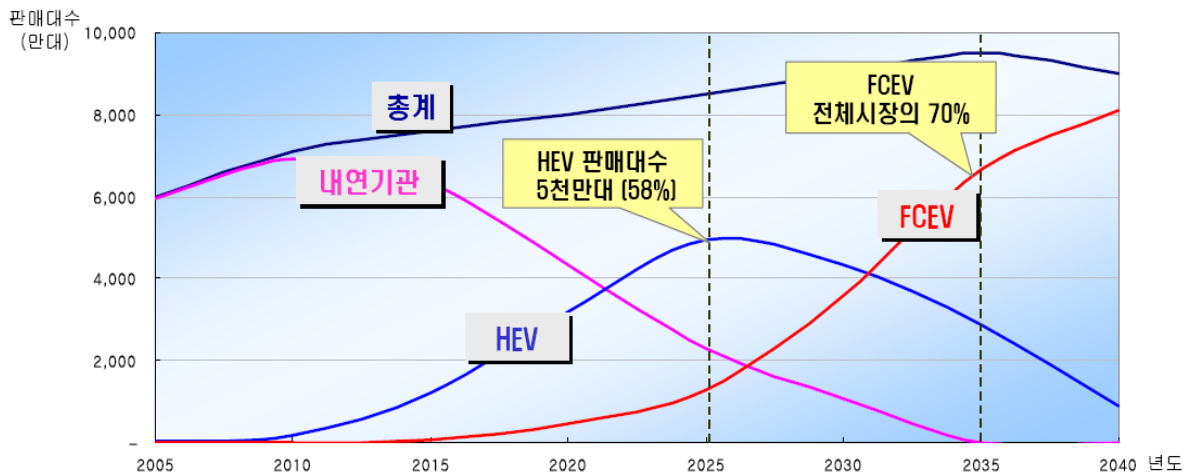
○ 기술적 측면

- 연료전지 운전장치 시스템은 연료전지의 운전에 필요한 연료 및 온도 조건을 충족시켜 줄 수 있도록 하는 각종의 기계적 부품들로 구성되어 있음
- 이들은 기존의 자동차에 사용되는 부품과 많은 부분에서 같은 역할을 하나 부품의 구동 방식이나 특성은 기존의 내연기관 자동차와는 많이 다르며, 자동차와 같은 한정된 공간에서 사용되기 위해서는 초소형이면서 고성능을 요구됨
- 연료전지 운전장치는 연료전지 시스템의 전체적인 효율, 무게 및 내구성 등에 직접적으로 영향을 끼침
- 현재 연료전지 스택이 구성하고 있는 물질의 내구성 및 최적의 성능을 내기 위한 운전조건의 협소함으로 인하여 운전장치 시스템의 부품, 설계 및 운전 기술이 전체 연료전지 시스템, 나아가 연료전지자동차의 성능에 많은 영향을 끼치고 있음
- 이것은 최근 연료전지 자동차를 포함한 친환경자동차의 성능을 비교 평가하기 위하여 개최된 Michelin challenge Bibendum과 같은 행사에서도 증명되었음
- 같은 연료전지 스택을 사용하더라도 운전장치 시스템을 개발한 자동차 회사에 따라 자동차의 성능이 많은 격차를 보임
- 이는 연료전지자동차의 성능 향상 및 효율 향상을 위해서는 고성능 고효율 연료전지 운전장치 개발의 중요성을 확인하여 주는 결과
- 연료전지 스택은 많은 기술적 발전에도 불구하고 자동차의 적용을 위해서는 기술적으로 해결해야 하는 많은 문제들을 가지고 있음

- 연료전지 운전을 위해서는 공급되는 연료 및 공기의 습도를 조절해야 하는 문제, 특정 온도 및 압력 조건이 충족되어야 하는 문제, 빙점 이하의 온도에서 연료전지를 시동하는 문제 등의 해결을 위해서는 연료전지 스택의 설계 기술 개발과 운전장치 시스템 개발이 종합적으로 이루어져야 함

○ 정책적인 측면

- 미국, 유럽, 일본 등 선진국은 고압수소가스 등 연료전지자동차의 안전성 기술 확보를 통한 연료전지자동차 시장을 선점하기 위해 치열하게 경쟁하고 있음
- 현재 UN산하 자동차분과위(UN/ECE/WP29) 등에서 기술규정, 안전기준, 평가기술 등의 제정 추진에 자국의 입장 반영을 추진하고 있음



<그림 1> 세계 자동차산업시장 개략도

- 향후 기존 내연기관 자동차의 판매대수는 점차 감소하면서, 친환경자동차인, 하이브리드 및 신개념의 연료전지 자동차의 시장보급에 따른 국가의 자동차 관리에 대한 혼란과 문제점을 최소화하고, 자동차 국제기술규정 (GTR) 제정 등에 능동적 대응이 필요함
- 특히 연료전지 자동차는 유해배출가스가 없는 무공해자동차이지만 고압수소가스, 고전압 등에 의한 안전도 확보가 필수적임
- 더욱이 ‘환경친화적자동차의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률’에 의거 수립한 산업자부 “친환경자동차의 개발 및 보급을 위한 기본계획” (2005.12)에서 자동차 안전기준, 안전성평가는 건교부 주관으로 역할이 분담되어 있음

<표 1> 관계 부처간 협조체계

구 분	담당부처	
	주 관	협 조
자동차 안전기준 및 안전성 평가기술 개발, 안전기준 국제조화	건교부	산자부, 환경부
자동차 기술개발, 연비기준 및 수소에너지 인프라 구축	산자부, 환경부	과기부
자동차 소음·진동기준, 배기가스 기준 등 환경 기준 및 저공해차 보급지원	환경부	행자부, 산자부

2. 최종목표 및 내용

가. 최종목표

- 수소연료전지자동차의 사고위험성 최소화를 위한 안전성 평가기술 개발
- 수소를 연료로 하는 연료전지 자동차에 대한 고전압장치, 수소가스 안전성 등에 대한 안전성 평가기술 및 안전기준 개발

- 정부의 자동차 관리 기능을 극대화
- 국제적인 평가기준 확보로 통상마찰 해소
- 국내 자동차산업 경쟁력 향상

- 수소공급 시스템의 안전성 평가기술 개발
- 수소 · 연료전지 자동차의 안전기준(안) 및 평가기술 개발
- 연료전지 자동차의 고전압시스템 안전성 평가기술 개발

나. 기술개발 내용

수소 · 연료전지 자동차의 안전성 평가 기술개발 연구는 크게 제도 · 정책연구, 수소안전성 연구, 차량운행 안전성 연구, 전기안전성 연구, 4개 연구분야로 구분되며, 제도 · 정책연구는 2개의 연구내용, 수소안전성 연구는 2개의 연구내용, 자동차 안전성 연구는 2개의 연구내용, 전기안전성 연구는 2개의 연구내용으로 구분되어 총 4개 연구분야, 8개 연구내용으로 구성되어 있음

<표 2> 최종목표 및 연구분야별 목표

수소 · 연료전지자동차 안정성 평가기술 개발			
제도 · 정책 연구	수소안전성 연구	차량운행안전성연구	전기안전성 연구
-수소 · 연료전지 자동차의 제도/정책 동향분석 및 안전기준 국제조화 연구 -수소 · 연료전지 자동차 안전관리, 구난체계 및 폐기방안 선행연구	-차량용 수소저장 및 공급시스템의 안전성 확립을 위한 평가기술 개발 -충전시 차량과 충전소간 안전성 평가방안 연구	- 수소 · 연료전지 자동차 안전기준 부합성 평가 연구 -연료전지자동차 FAIL-SAFETY 모드 안전성 평가 연구	-연료전지 및 고전압시스템 전기 안전성 연구 -연료전지 및 전기전자시스템 전자파 안전성 연구

1) 수소·연료전지 자동차의 제도/정책 연구

가) 수소·연료전지 자동차의 제도/정책 동향분석 및 안전기준 국제조화 연구

- 외국 안전관련 법규 및 실용계획, 주요제조사별 개발현황
- 자동차 충돌에 의한 대형사고 분석
- 수소연료전지 자동차 분야 안전기준 국제조화 및 WP.29 수소연료전지 자동차의 GTR 개발 위한 기획

나) 수소·연료전지자동차 안전관리, 구난체계 및 폐기방안 선행연구

- 수소연료 사용에 따른 취급요령 및 수소자동차 안전 확보 방안 전략 수립
- 비정상적인 상태에서의 수소연료 자동차의 안전확보 매뉴얼 선행연구
- 폐차관련 환경부하 분석 및 재사용 가능 부품의 분석 및 제작시 유해물질 선행연구

<표 3> 제도/정책연구분야 연구내용 및 세부 연구내용(성과물)

연 차	연구내용	세부 연구내용 (성과물)
1년차	외국의 연료전지 자동차 안전관련 법규 동향 분석	- 외국 안전관련 기준 고찰 및 표준화 동향 분석
	UNECE WP.29의 수소·연료전지 전문가 기술회의	- Informal SGE (환경분야), SGS (안전분야) 대응
	UNECE WP.29 GRPE(환경 및 에너지), GRSP(충돌안전) 전문가 그룹 회의	- Formal GRPE, GRSP 대응 및 국내 대응 TF팀(전문가 그룹) 조직 및 운영
2년차	외국의 연료전지 자동차 실용화 분석	- 일본 (JARI, JHFC), 미국 (CaFCP, DOE, DOT), 유럽 (아이슬랜드, 독일) 동향 분석
	주요 제조사별 연료전지 자동차 개발 및 연구 동향	- 기출시 및 컨셉 연료전지 자동차 기능 및 사양 등 동향조사
	자동차 충돌에 의한 대형 사고 분석	- 대형충돌사고 및 화재사고 분석
	UNECE WP.29의 수소·연료전지 전문가 기술회의	- Informal SGE (환경분야), SGS (안전분야) 대응
	UNECE WP.29 GRPE(환경 및 에너지), GRSP(충돌안전) 전문가 그룹 회의	- Formal GRPE, GRSP 대응
3년차	주요 제조사별 연료전지 자동차 개발 및 연구 동향	- 기출시 및 컨셉 연료전지 자동차 기능 및 사양 등 동향조사
	수소 및 수소혼합 연료 자동차 안전관련 법규 동향 분석	- 외국 안전관련 기준 고찰 및 표준화 동향 분석
	UNECE WP.29의 수소·연료전지 전문가 기술회의	- Informal SGE (환경분야), SGS (안전분야) 대응
	UNECE WP.29 GRPE(환경 및 에너지), GRSP(충돌안전) 전문가 그룹 회의	- Formal GRPE, GRSP 대응

연 차	연구내용	세부 연구내용 (성과물)
4년 차	수소 및 수소혼합 연료 자동차 실용화 분석	- 미국(DOE), 캐나다 등 동향분석
	주요 제작사별 수소 및 수소 혼합 연료 자동차 개발 및 연구 동향	- 기출시 및 컨셉 수소 및 수소혼합연료 자동차 기능 및 사양 등 동향조사
	UNECE WP.29의 수소·연료전지 전문가 기술회의	- Informal SGE (환경분야), SGS (안전분야) 대응
	UNECE WP.29 GRPE(환경 및 에너지), GRSP(충돌안전) 전문가 그룹 회의	- Formal GRPE, GRSP 대응
5년 차	수소연료 사용에 따른 취급요령 등 안전확보 방안 교육·홍보자료 선행연구	- 도로, 정비업체, 충전소 등에서 지켜야 할 안전한 수소 사용방법에 대한 교육·홍보 자료 등 기초연구
	비정상적인 상태에서의 수소연료 자동차의 안전확보 매뉴얼 선행연구	- 사고시, 고장발생시 등 수소연료 자동차의 자동차 탑승자, 구조요원 등의 안전확보 대응매뉴얼 등 기초연구
	수소·연료전지 자동차의 폐차 및 재사용관련 선행연구	- 폐차시 재사용 부품에 활용방안, 제작시 사용되는 유해물질에 대한 기초연구
	UNECE WP.29의 수소·연료전지 전문가 기술회의	- Informal SGE (환경분야), SGS (안전분야) 대응
	UNECE WP.29 GRPE(환경 및 에너지), GRSP(충돌안전) 전문가 그룹 회의	- Formal GRPE, GRSP 대응

2) 수소·연료전지 자동차의 수소 안전성 연구

가) 차량용 수소 저장 및 공급시스템 안전성 확립을 위한 평가기술 개발

- 충돌 및 단품 누출시험시 수소 대체 가능 물질 선정
- 주차중 수소 누출시 및 압축수소저장시스템 안전성 평가
- 수소저장시스템의 주행중 및 신저장 시스템의 안전성 평가
- 수소센서 및 누설감지 & 감지시스템 분석
- 감지 및 차단시스템의 평가기술 연구

나) 충전시 차량과 충전소간 안전성 평가방안 연구

- 자동차와 수소충전 시스템의 수소 누설
- 자동차와 수소충전소의 정적 스파크 평가
- 수소 충전시 안전확보를 위한 충전소 규격 개발

<표 4> 수소 안전성 연구분야 연구내용 및 세부 연구내용(성과물)

연 차	연구내용	세부 연구내용 (성과물)
1년차	고압 수소시스템의 안전설계기준 수립에 필요한 충돌, 화재 및 진동 시험 안전성 평가 연구	- 수소시스템 및 차량의 충돌, 화재 및 진동시험 평가 방안 수립
	수소센서 및 누설감지 시스템의 차량 적합성 평가 연구	- 차량내 수소센서 설치 위치 및 감지 범위 확립 - 수소센서 성능 및 신뢰성 평가 방안 개발
2년차	고압 수소시스템의 안전설계기준 수립에 필요한 충돌, 화재 및 진동 시험 안전성 평가 연구	- 수소시스템 및 연료전지차량의 충돌 및 진동시험 안전성 평가 방안 수립 - 수소탱크 및 안전장치의 안전성 평가를 위한 설비 구축
	차량용 수소저장용기 및 공급배관 안전성 평가 연구	- 고압 수소저장시스템 안전설계 기준 수립
	수소연료 충전시 충전장치 및 연료저장시스템 거동 연구	- 고압충전시 수소 충전거동 분석
	자동차와 충전소의 정적 스파크 평가기술 연구	- 최대허용 저항 분석
3년차	차량용 수소저장용기 및 공급배관 안전성 평가 연구	- 차량용 수소탱크 안전장치의 안전성 평가기술 개발
	수소연료 자동차의 안전충전 절차 개발 연구	- 충전시 Protocol 개발 · communication tool 개발 및 평가 · 충전시 자동차 상태 평가, 예측기술 개발
4년차	수소연료 자동차의 안전충전 절차 개발 연구	- 수소연료전지차 충전시 안전절차 및 안전기준(안) 작성 - 비상사태 발생시 안전모드 수립 및 평가
5년차	차량용 수소저장용기 및 공급배관 안전성 평가 연구	- 수소시스템 충격 손상 안전성 평가 - 수소 저장 및 공급시스템에 대한 안전기준(안) 및 평가방법(안) 도출 및 작성

3) 수소·연료전지 차량 운행안전성 연구

가) 수소·연료전지 자동차 안전기준 부합성 평가 연구

- 수소·연료전지자동차안전기준 적용성 분석
- 연료전지자동차 연비측정 방법 평가
- 수소·연료전지자동차의 안전기준 부합성 평가
- 안전기준(안) 및 평가방법(안) 도출
- 수소·연료전지자동차 신규항목 도출

나) 연료전지자동차 FAIL-SAFETY 모드 안전성 평가 연구

- 연료전지시스템의 잠재적 위험요소 분석
- 연료전지 FAIL 발생시 안전성 평가기술 연구
- 제어계통 이상시 FAIL -SAFETY 모드 분석
- FAIL-SAFETY 모드 안전성 확보 방안

<표 5> 차량 운행 안전성 연구분야 연구내용 및 세부 연구내용(성과물)

연 차	연구내용	세부 연구내용 (성과물)
1년차	수소·연료전지 자동차의 안전 기준 적용성 연구	- 안전기준 개정 로드맵 및 개정방안 수립 - 수소·연료전지 자동차 연비 측정 방법관련 관련 문헌 조사
	연료전지 시스템의 잠재적 위험 요소 연구	- 모터, 수퍼캐프/배터리, 고전압 부품 고장시 위험 요소 분석
2년차	수소·연료전지 자동차 연비 측정 방법 연구	- 수소·연료전지 자동차 연비 측정 방법관련 시험 및 분석
	연료전지 시스템의 잠재적 위험 요소 연구	- 절연 파손시, 전기적 충격시 위험 요소 분석 - 연료전지시스템 요소 부품 고장, 수소누출, 차량 충돌시 위험 요소 분석
3년차	수소·연료전지 자동차의 안전 기준 부합성 평가 연구	- 수소·연료전지 자동차 국내외 각 안전시험 항목별 평가 및 분석 - 수소·연료전지 자동차 각 안전시험 항목별 시험방법 분석
	연료전지자동차 자기진단 기술 개발 및 이상 발생시 FAIL-SAFETY 모드 연구	- 자동차 이상 발생 시퀀스 분석 및 부품 고장 진단, 수소누출 등의 위험 감지 기술 개발 - 모터, 고전압부품, 배터리/수퍼캐프, 연료전지시스템 등의 자기진단 기술 개발

연 차	연구내용	세부 연구내용 (성과물)
4년차	수소·연료전지 자동차의 안전 기준 부합성 평가 연구	- 수소·연료전지 자동차 각 안전시험 항목별 평가 및 분석 - 수소·연료전지 자동차 각 안전시험 항목별 시험방법 분석
	연료전지자동차 자기진단 기술 개발 및 이상 발생시 FAIL-SAFETY 모드 연구	- FAIL-SAFETY 모드의 작동 조건 정의, 제어로직 개발
	FAIL-SAFETY 모드 안전성 확보 및 평가 기술 개발 연구	- 이상발생시, FAIL-SAFETY 모드별 시험 및 안전성 평가 기술 개발 - 연료전지시스템, 모터, 제어기, 고전압 요소 부품 고장 진단 시험 및 평가
5년차	수소연료전지자동차 안전기준(안) 및 시행세칙(안) 연구	- 각 항목별 안전기준(안) 및 시행세칙(안) 도출 및 작성
	수소·연료전지 자동차의 신규 시험항목 연구	- 신규 시험항목 발굴을 위한 로드맵 수립
	FAIL-SAFETY 모드 안전성 확보 및 평가기술 개발 연구	- FAIL 발생시 최소 운전 전략 평가 및 안전성 확보 전략 수립 - FAIL-SAFETY에 대한 안전기준(안) 및 시행세칙(안) 도출 및 작성

4) 수소·연료전지 자동차 전기안전성 연구

가) 연료전지 및 고전압시스템 전기안전성 연구

- 차체 및 부품의 접지/전기적 접촉의 안전성 평가방안 개발
- 충전시, 주행시, 충돌시 등 화재 및 감전 위험성 평가
- 연료전지 차량용 보조전원장치의 전기관리시스템 평가
- 대전력 구동 시스템 안전성 확보방안 연구 및 평가기술 개발
- 고전압/고전류 대응 안전배선 시스템 개발 및 안정성 평가기술 개발

나) 연료전지 및 전기전자시스템 전자파 안전성 연구

- 연료전지 자동차 및 전자제어시스템 전자파 환경 특성분석
- 대전력 구동 시스템에 대한 저주파 평가기술 개발

<표 6> 전기안전성 연구분야 연구내용 및 세부 연구내용(성과물)

연 차	연구내용	세부 연구내용 (성과물)
1년차	연료전지 스택 전기적 특성분석 및 평가방안 연구	- 연료전지 스택 부품에 관한 내한, 내열 및 전기적 특성 분석 - 부품의 설계 및 특성을 고려한 위험우선순위 선정, 사고패턴 분석
	고전압 시스템 전기안전성 평가기술 개발 및 검증 연구	- 연료전지, 전원분배 시스템, 와이어 및 커넥터등 전기적 안정성 평가방안을 위한 이론적 배경 도출
	연료전지 자동차 및 전자제어시스템 전자파 특성 연구	- 연료전지 자동차 및 전자제어시스템 전자파특성 및 평가항목 분석 - 수소연료전지 자동차에 대한 전자파 환경 특성분석 (필드 및 차량)
2년차	연료전지 스택의 사고모델 설정 및 재현실험	- 절연 파괴에 의한 사고 위험성 분석 - 진동 내구 조건 및 산화물 증식에 따른 전기접촉특성 분석 및 사고 모의실험
	고전압시스템 전기적 특성 분석 및 평가 방안 연구	- 접지 및 격리에 대한 전기안전성 기준 항목 및 기준치 도출
	고전압 시스템 전기안전성 평가기술 개발 및 검증 연구	- 접지/전기적 접촉의 안전성(효율성) 평가를 위한 측정 방법 및 장비 사양 도출
	고전압/고전류용 안전 배선 시스템 개발 및 안정성 평가 기술개발 연구	- 고전압/고전류 대응 안전 배선 시스템 설계기술 분석 및 개발
	연료전지 자동차 및 전자제어시스템 전자파환경 특성 연구	- 연료전지 자동차 및 전자제어시스템 전자파 평가항목 및 수소·연료전지차의 전자파 환경 특성분석
	대전력 구동 시스템에 대한 저주파 평가기술 연구	- 대전력 구동시스템에 대한 저주파 노이즈 영향연구 및 분석
3년차	연료전지 스택의 전기 안전성 평가 방안 연구	- 전기안전 평가 대상, 항목, 기준 설정
	고전압 시스템 전기안전성 평가기술 개발 및 검증 연구	- 충전시, 주행시, 충돌시 등 화재 및 감전에 대한 전기안전성 기준 항목 도출
	고전압/고전류용 안전 배선 시스템 개발 및 안정성 평가 기술개발 연구	- 고전압/고전류 대응 안전 배선시스템 1차 시제품 개발
	전자기장(방사 및 내성), 정전기, 전기적 과도 내성성능 평가기술 연구	- 차량내 스파크 및 정전기 해석 및 평가 방안 수립
	대전력 구동 시스템의 저주파 안정성 평가 방안 연구	- 저주파에 안전한 대전력 구동시스템 1차 시제품
	연료전지 및 첨단전자시스템에 대한 전자파 성능 평가 기술 연구	- 전장품 단품 레벨의 전자장 영향분석 및 연구개발

연 차	연구내용	세부 연구내용 (성과물)
4년차	고전압 시스템 전기안전성 평가기술 개발 및 검증 연구	- 연료전지시스템과 차량의 전기, 전자 구조물 사이의 전기적 격리기준 및 측정 방법 도출 및 고전압시스템의 전기에 대한 감전 보호 기준 도출
	고전압/고전류용 안전 배선 시스템 개발 및 안정성 평가 기술개발 연구	- 고전압/고전류 대응 안전 배선시스템 전기안정성 성능시험 결과
	전자기장(방사 및 내성), 정전기, 전기적 과도 내성성능 평가기술 개발 연구	- 시스템레벨의 전자장 영향분석 및 연구개발
	대전력 구동 시스템에 대한 저주파 평가기술 연구	- 저주파에 안전한 대전력 구동시스템 저주파 안정성 성능 평가 결과
5년차	연료전지 스택의 전기 안전성 평가 방안 연구	- 수소누출, 화재발생, 연전압발생시 등 환경에서의 안전기준(안) 도출
	고전압 시스템 전기안전성 평가기술 개발 및 검증 연구	- 전기안전성 최종 안전 기준 도출 및 평가를 위한 세부 검증기술 도출
	고전압/고전류용 안전 배선 시스템 개발 및 안정성 평가 기술개발 연구	- 고전압/고전류 대응 안전 배선시스템 전기안정성 평가방법 도출 - 고전압/고전류 대응 안전 배선 시스템 2차 시제품
	전자기장(방사 및 내성), 정전기, 전기적 과도 내성성능 평가기술 개발 연구	- 과도전압 및 정전기 안정성 평가기술 개발
	대전력 구동 시스템에 대한 저주파 평가기술 연구	- 저주파에 안전한 대전력 구동시스템 저주파 평가 기술 도출 - 저주파에 안전한 대전력 구동시스템 2차 시제품

3. 국내·외 안전성평가기술 및 기술개발 동향

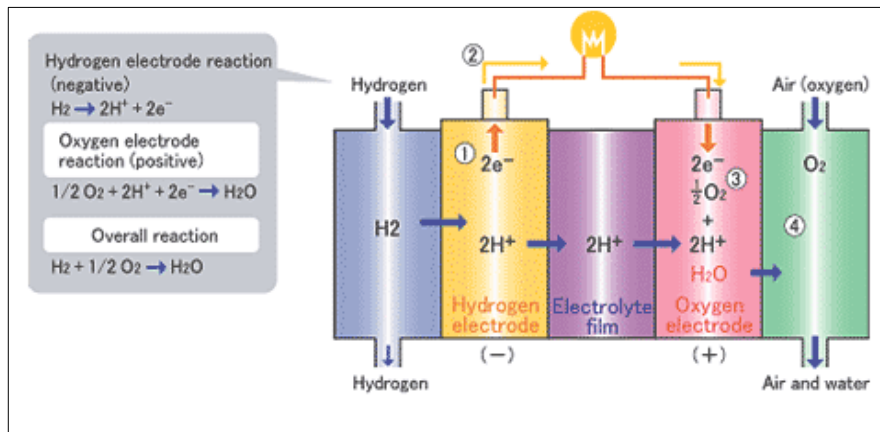
가. 수소연료전지자동차의 개요

1) 수소가스의 물리적 특징

- 수소가스는 비독성 가스이지만 공기 중에서 산소대신 공간을 차지할 때 질식 가스로서 작용함
- 수소는 무색, 무취, 무미이기 때문에 산소대신 수소로 이루어진 공기를 흡입하여 무의식상태가 아무런 경고나 물리적 징후없이 발생할 수 있음
- 발화위험은 질식을 일으키는 농도보다 더 낮은 상태에서 일어남
- 대기압에서 발화한계는 약 4 ~ 75 % VOL. 이며, 가솔린은 1.4 ~ 7.4%임. 수소-공기의 혼합물은 점화하기가 극히 쉬우며 점화에너지는 0.02 mJ 인데, 이것은 SPARK가 발생하는 정전기방전의 에너지와 비슷하며, 다른 탄화수소계 연료는 0.25 mJ 임
- 건조상태에서 인간의 몸에서 발생하는 정전기는 수소를 점화하기에 충분하며, 이러한 이유로 정전기를 발생하지 않은 차량 내부의 구성품은 수소와 관련된 안전기준을 가져야 함
- 수소는 원자 크기가 작기 때문에 다공성 물질을 통해 빠르게 확산됨
- 대기온도에서 금속에 느리게 확산 및 용해되며, 높은 온도에서는 보다 빠르기 때문에 동일한 압력에서 다른 일반 가스나 공기를 위해 가스나 적정하게 주입된 시스템으로부터 누설이 발생할 수 있고, 여러가닥의 도선의 내부 통로를 통하여 수소의 누설이 가능함
- 수소는 비중이 0.0696으로서 모든 가스 중 가장 낮은 중량을 가지고 있으며, 공기의 1/16 수준이고, 아주 높은 확산율을 가지고 있음
- 수소는 메탄보다는 4배, 가솔린 증기보다는 10배의 확산속도를 가지고 있음. 액체수소 또한 무색, 무취, 비부식성이나, 액체수소가 따뜻해짐에 따라 가스로 증발하며 수소가스의 특성을 가지게 됨
- 동상 또는 열적 연소와 유사한 극저온 연소는 수소가스와 다르게 만약 액체수소와 몇 초동안 접촉하는 것의 결과이고, 또한 연소는 노출된 고압용기 구성품이나 비단열한 파이프와 일정기간 동안에 접촉이 이루어지면 발생하기 때문에, 자동차 제작자는 액체수소 온도에 노출될 수 있는 파이프나 고압용기 구성품에 이 조건을 고려해야 함

2) 수소연료전지 자동차 정의

- 수소연료전지 자동차는 연료로서 수소를 사용하며 이를 공기 중의 산소와 화학반응을 시켜, 이때 발생하는 전기를 이용해 구동용 모터를 작동시킴으로써 운전되는 자동차를 말함

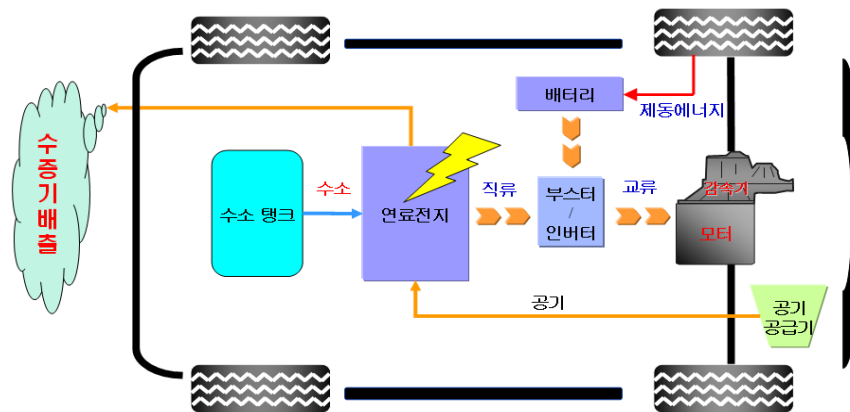


<그림 2> 연료전지 구조

1. 외부에서 공급되는 수소 분자(H₂)는, 2개의 전자(e⁻)를 풀어 놓고 수소 이온 (H⁺)이 됨
 2. 수소부터 떨어진 전자는, 외부 회로를 통해 반대쪽의 산소극에 전류로서 흐르며, 여기에서 전기가 발생됨
 3. 공기 중에서 산소 전극, 산소 분자 (O₂) 외부 회로에서 돌려보내는 전자 및 된 산소 이온 (O₂⁻) 산소 이온은 전해질로 이동해 온 수소 이온 (2H⁺)과 결합하고, 물(H₂O)이 됨
- 고체고분자형 연료전지의 경우 공급되는 수소는 촉매(주로 백금)에 의해 수소 이온과 전자로 분리되며, 수소 이온은 수분과 함께 전해질 막을 통해 양극으로 이동하고, 전자는 전선을 통해 양극으로 이동하며, 양극에서는 이들 수소이온, 전자 및 공기 중의 산소가 반응하여 수증기를 생성하며, 배출 가스는 물이 됨
 - 이 때 전해질 막이 가습되어야 위의 반응이 원활하게 일어나므로 수소 및 공급 공기를 가습하는 장치가 필수적임
 - 반응시 발생하는 열을 효과적으로 외부로 방출하여야 하며, 열 방출이 원활하지 않은 경우 전해질 막의 온도가 올라가 건조현상이 발생하고 출력이 감소됨
 - 발생하는 전압은 400 V 내외로서 기존의 차량보다 높으며, 구동용 전원, 통

신용 전원, 보조장치용 전원 등 용도에 맞게 변환하는 것이 필요할 뿐만 아니라, 차량의 구동을 위한 전력 소모에 따른 전체 전력의 제어가 필요하고, 운전자의 안전을 별도로 고려하여야 함

- 동절기의 운전을 위해서는 발생하는 수분의 처리 및 동파방지, 냉시동을 위한 방안이 필요하며, 하절기의 냉방 및 동절기의 난방을 위한 방안이 필요함

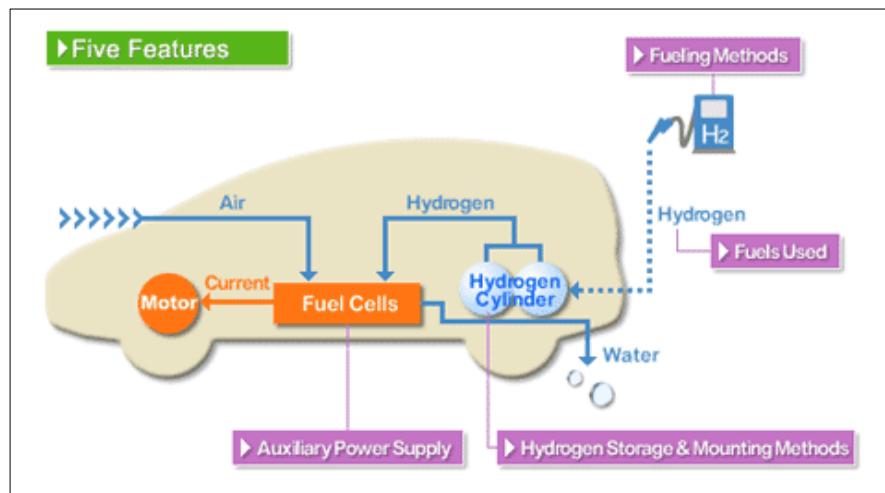


<그림 3> 수소연료전지 자동차 개념도

- 연료전지 자동차는 수소와 산소사이 화학 반응에 의하여 전기를 일으키는 연료전지를 포함함
- 자동차가 이동하기 위하여 이 전기는 자동차의 전동기를 회전시킴
- 내연기관 자동차는 주유소에서 연료를 공급받게 되며, 수소 연료전지 자동차는 수소충전소에 수소연료를 공급받게 됨

3) 수소연료전지 자동차의 구성

- 수소와 산소로부터 전기를 생산하는 연료전지 스택은 연료를 연소하여 열로 바꾸어 주는 내연기관의 엔진에 비유될 수 있어 전기화학 엔진이라고 불림
- 내연기관에 연료 및 공기 공급, 냉각, 배기를 위한 장치로 구성된 엔진 운전 장치가 존재하는 바와 같이, 연료전지 시스템에도 같은 기능을 하는 스택 운전 장치가 있음
- 열 및 물질 수지 개념을 중요시 하는 화학 공정에서는 이를 Balance of Plant (BOP)라고 하기도 함
- 프로톤 교환막 연료전지 시스템의 스택 운전 장치는 크게 공기 공급 및 배기계, 연료공급계, 물관리 및 냉각계 등으로 구성되어 있음



<그림 4> 수소연료전지 자동차의 구성

□ 공기 공급 및 배기계

- 연료전지 시스템에서는 내연기관과 같이 피스톤의 행정 운동에 의해 공기를 자연스럽게 흡입하는 기능이 없기 때문에 공기를 강제로 불어 넣어 주는 장치가 필요하며, 일반적으로 모터로 작동하는 공기블로어 또는 압축기가 쓰임
- 자동차용 연료전지 시스템은 대부분 1~3기압에서 작동하도록 설계되어 있음
- 공기공급기는 연료전지 운전에 있어 가장 많은 일을 필요로 하는 장치로서, 연료전지 시스템 최대 출력의 5~20%를 사용함
- 압축성 유체를 다루는 특성상 공기공급기의 운전 효율은 작동 압력에 민감하여, 일반적으로 상압 근처에서 운전할수록 유리한 반면, 연료전지의 성능면에서는 가압운전이 유리하므로 이에 대해서 최적화하여 운전할 필요 있음
- 특히, 가압하여 운전할 경우에는 연료전지 스택 배기에서 에너지를 회수할 수 있는 팽창기와 일축으로 연결된 공기압축기가 쓰이기도 함
- 자동차에 쓰이는 공기공급기는 그 장착성을 고려하여 작게 만드는 것이 필수적이다. 이를 위해 공기공급기 회전수가 분당 수만 회에 이르도록 설계됨

□ 연료공급계

- 연료전지 시스템의 연료로 수소를 직접 사용할 경우 연료 공급계는 비교적 간단하게 설계됨
- 수소 저장 방법에 따라 다르기는 하지만, 대부분 수~수십 기압으로 공급되는 수소를 스택 입구에서 운전 압력으로 조절함
- 수소 저장 압력이 일반적으로 공기 공급 압력 보다 높기 때문에, 수소 공급

계 부품들의 파손 또는 오작동으로 인해 스택에 공기압보다 높은 수소가 공급되는 것에 대한 대책이 필요함

- 연료전지 스택에 공기와 연료를 공급할 때에는 스택의 성능 확보 및 수명 증대를 위해 연료전지반응에 필요한 양보다 더 많이 공급하며, 이 때 스택에서 사용하고 남아 배출되는 수소를 재사용하여 연료의 낭비를 막아야 함
- 일반적으로 수소를 재순환하여 스택 입구 쪽으로 되돌리거나, 태워서 시스템 또는 차량에 필요한 열을 공급하며, 특히 스택을 통과한 미반응 수소를 재순환하는 기술은 연비 향상을 위해 매우 중요함

□ 물 관리 및 냉각계

- 프로톤 교환막 연료전지는 전해질의 프로톤 전도성을 확보하기 위해 반응 가스의 습도 유지가 필요하고, 그렇지 않을 경우 프로톤 교환막이 건조하게 되고 이로 인해 막 구조 파괴되어 전도성을 상실하게 됨으로써 결국 연료전지 스택의 수명을 단축하게 됨
- 반응 가스의 가습을 위해 가습기를 사용하는데, 유량이 많은 공기의 가습이 수소보다 상대적으로 어렵고, 가습을 위해 필요한 열량은 수십 kW에 이르며 이를 스택에서 생산된 전력으로 공급하는 것은 불가능함
- 반응 기체와 물의 습도 차이에 의한 물의 자연증발을 이용하는 것이 전체 연료전지 시스템의 효율을 높일 수 있는 방법이며, 이 경우 가습기 설계에 있어 물과 반응기체가 만나는 면적을 넓혀주는 방법이 중요함
- 가습에 필요한 물은 연료전지 반응에 의해 공기극 가스에 포함된 물을 회수하여 사용하는 것이 일반적이고, 연료변환기를 사용할 경우에 물이 더 필요하므로 물 회수량이 더 많아야 함
- 연료전지 스택 발전에 대한 열효율이 약 60~70%로 기존 내연기관에 비해 월등하여 폐열량은 상대적으로 적지만, 배기가스가 가지고 나가거나 시스템의 몸체를 통해 발산되는 열량이 작기 때문에 스택의 냉각수에 의한 냉각량은 내연기관에 비해 적지 않음
- 특히 작동 온도가 내연기관 보다 낮기 때문에, 냉각수와 대기 온도차가 작아서 라디에이터를 통한 열 교환 능력이 작아지게 되고, 연료전지 차량의 냉각 시스템이 기존 내연기관차에 비해 커지는 이유가 바로 이것임
- 차량의 장착성을 고려하며 대기와의 열교환 능력을 극대화 할 수 있는 라디에이터의 설계가 요구됨

□ 수소저장 기술

- 수소 고밀도 저장은 수소 활용의 매우 중요한 요건이며, 수소 저장방법의 선택은 연료용기의 저장형태, 충전시간, 경제성, 인프라구축 이외에 간접적인 요인으로 에너지 효율, 자동차 연료 경제성, 성능, 활용성 등을 고려해서 이루어져야 함
- 고압기체 수소저장기술은 현재 활발히 연구되고 있는 수소저장 기술 중 실용화 가능성이 가장 높은 기술이고, 이는 경량, 고강성, 고강도 복합 소재의 압력용기에 수소 가스를 고압으로 압축하여 저장하는 기술임. 이 기술이 특히 주목받는 이유는 기존의 수소저장기술 중 중량효율 면에서 가장 월등하고 시스템의 구성이 단순하기 때문에 자동차 등 수송기기용의 탑재 시스템으로는 가장 효과적인 방법이기 때문임
- 개발된 연료전지 자동차는 이 기술을 적용하여 실용화하였으며, 이외에 저온 액체 수소저장 기술은 미국에서 이미 1950년대부터 액체수소를 수송기계의 추진용 연료로 사용하기 시작하였고, 미국과 러시아 간에 우주 개발의 경쟁과 함께 수소의 대량액화, 저장 및 연료공급용 이송장치에 관한 연구도 병행되고 있고, 액체수소 연료탱크를 장착한 시내버스와 승용차의 시작품이 개발되어 시험 운전되고 있음
- 탄소나노재료를 이용한 수소저장은 미국의 California Institute of Technology (Caltech)에서 단일벽 탄소나노튜브의 수소흡착 분야에 대한 실험결과, 나노 튜브에 8 wt%의 많은 양의 수소가 흡착되었으나 77k, 70bar에서 저장된 것이어서 이를 공학적으로 응용하는 것은 어려움이 있지만, 이 조건만 극복 할 수 있다면 나노튜브는 훌륭한 수소저장체로 사용될 수 있음

- 고압기체 수소저장기술

: 고압 수소 기체저장은 압축천연가스 저장의 연장선상에 있는 기술임

: 이음매가 없는 알루미늄 볼배 밖을 탄소섬유로 감아 수지로 굳힌 기법으로 35 Mpa 압력, 100 리터 용기에 3.0kg의 수소를 저장할 수 있고, 현재는 70 Mpa에 6 kg의 고압 탱크가 개발되어 있음

: 자동차에 탑재되어 연료용기로 사용되는 고압용기로는 사용 재료와 복합재료 강화방법에 따라 크게 4가지 형태로 나눌 수 있음

· Type 1은 강 또는 알루미늄으로 만들어진 금속재 용기로서 복합재료에

의한 강조적 강화 없이 금속재료로 제조된 용기

- Type 2는 강 또는 알루미늄으로 만들어진 금속재 라이너 위에 수지를 함침시킨 피라멘트를 원주 또는 길이방향으로 감아서 적층한 용기
- Type 3은 강 또는 알루미늄으로 만들어진 얇은 금속재 라이너위에 수지를 함침시킨 탄소섬유나 유리섬유를 원주와 길이방향으로 감아서 적층한 용기
- Type 4는 용기의 경량화를 목적으로 하중의 부담이 없는 비금속 재료 라이너로 만들어진 Type 3과 비슷한 용기이며, 이 형태는 하중을 거의 부담하지 않고 가스가 새지 않도록 하는 역할을 하고, 연료전지 자동차에 사용되는 수소저장용기는 경량화를 위해 주로 Type 3이나 Type 4가 사용되고 있음

- 저온액체 수소 저장 기술

: 수소의 발열량은 가솔린의 약 2.7배이지만 액체수소의 비중은 0.071g/cm^3 으로 가솔린의 약 1/10정도이다. 따라서 가솔린 연료와 동일 주행거리를 유지하기 위한 액체 수소 연료의 체적은 가솔린 연료의 약 4배 정도가 됨

: 비등점이 -253°C 인 액체수소의 저장탱크를 이중 단열구조로 하면 탱크의 체적은 더욱 증가하고 중량은 가솔린 탱크의 약 10배 정도가 되지만, 액체 수소 탱크의 체적 및 중량은 고압수소 탱크나 수소저장합금에 배하여 약 1/10정도에 지나지 않아서 운반성은 유리함

: 액체수소는 액체수소펌프를 사용하여 요구되는 압력으로 가압할 수 있다는 장점이 있음

: 수소의 비등온도는 대기압 하에서 약 $20\text{K}(-253^\circ\text{C})$ 에서 액화되기 때문에 수소를 액체로 저장하거나 한 위치에서 다른 위치에서 다른 위치로 이송하기 위해서는 항상 극저온 상태가 유지되어야 함

: 액체수소를 저장하는 저장용기는 다른 극저온 용기와 마찬가지로 매우 우수한 단열을 해야함

: 대표적인 단열방법으로 진공단열, 다층단열재, 증기냉각 복사실드의 세 가지를 사용하고 있음

: 열전도 및 열대류를 차단하기 위한 단열은 약 10^{-3}Torr 정도의 진공도로 이루어지므로 많은 경우 기계식 진공펌프로 생성이 가능함

: 열복사를 차단하기 위해서는 다층 단열재와 복사실드가 필요한데, 복사실

드는 방사도를 낮추는 표면처리를 필요로 하며 보통 액체질소나 기체 헬륨 등으로 냉각되거나 냉동기의 상단으로 직접 냉각되어야 함

: 다층 단열재는 수십 겹으로 구성되는 재료로 최근에 그 단열성능이 크게 증가하였음

- 수소저장합금을 이용한 수소저장

: 수소저장 합금이란 다량의 수소를 가역적으로 흡수 · 방출(사용)할 수 있는 능력을 보유한 합금을 말하고, 금속수소화물이란 수소저장합금과 수소의 화합물로서 수소저장 합금이 수소를 흡수하면 금속수소화물이 됨

: 이는 금속이 산소와 반응하여 금속산화물이 생성되는 것과 같은 개념이나, 이 둘의 차이점은 상온 · 상압 부근에서 금속산화물은 대단히 안정되어 분해하기 어려운데 반해 금속수소화물은 분해, 즉 수소 방출이 매우 용이하다는 것임

: 따라서 금속산화물은 산소저장 재료로 이용하기 어려우나 금속수소화물은 수소저장 재료로 이용이 가능함

- 수소흡장물질

: 화학반응으로 수소를 흡수하고 방출하는 성질을 가지고 있는 물질을 수소흡장 물질이라 함

: 특히 전형적인 금속수소화물을 수소 흡장금속이라 하고 그 밖의 것을 “케미컬 하이드라이드”라 함

: 현재까지 100여종이 넘는 수소흡장합금이 알려져 있으며, 대표적인 것으로는 란타/니켈로 대표되는 희토류계통, 티타늄/철 계통, 마그네슘/니켈계통 그리고 칼슘/니켈 계통이 있음

: 수소저장합금에 의한 수소저장기술은 실용화 단계에 있으며 현재는 보다 많은 양의 수소를 저장할 수 있는 합금의 개발에 노력을 기울이고 있음

: 현재 가장 널리 사용되는 LaNi계 및 FeTi계 합금의 수소저장량은 1~2 wt%에 불과하지만 Mg계 합금의 수소저장량은 5~7 wt%에 달하고 있지만, Mg계 합금수소저장합금은 수소의 흡수 방출속도가 LaNi계 및 FeTi계 합금보다 훨씬 느릴 뿐만 아니라 전체적으로 상온이 아닌 높은 온도의 영역에서 산소의 흡수 방출이 일어나므로 실용화에는 많은 연구 개발이 필요함

- 탄소나노재료를 이용한 수소저장

- : 고압 수소저장이나 액체 수소저장 방법은 상온에서 폭발 위험성이 있으며 저장비용이 높고, 수소저장합금은 상온에서 폭발 위험성이 있으며 저장비용이 높으며, 수소저장합금은 상온에서 20~40 기압 이하의 압력으로 수소를 안전하게 저장할 수 있지만 무게가 무겁고 가격이 비싸며 수소저장능력에서도 가솔린이나 디젤의 경우 17 wt%보다 훨씬 낮은 4 wt%정도 밖에 저장할 수 없다는 단점이 있음
- : 이러한 문제점을 해결하기 위하여 탄소재료를 이용한 수소저장방법이 연구되기 시작하였음
- : 탄소재료는 단일의 원소로 구성되어 있음에도 불구하고 결합의 형태가 다양하며 화학적 안정성, 전기 및 열전도성, 고강도, 고탄성율, 생체친화성 등의 우수한 재료임
- : 더욱이 탄소재료는 경량이며 자원량이 풍부하기 때문에 수소를 저장할 수 있는 신재료로 앞으로 크게 부각될 재료이며, 탄소나노튜브를 이용해 수소를 저장할 경우 나노튜브의 직경에 따라 수십 wt%이상의 수소를 저장하는 것으로 보고되어 다른 수소저장 방법에 비해 안전하고 가벼울 뿐만 아니라 저장 비용이 낮은 장점이 있으며, 높은 안전성과 재활용이 가능하여 친환경적이라는 큰 장점이 있음
- 압축수소 저장용기의 안전성 확보를 위한 성능평가지험은 재료인증시험, 용기시험, 부품인증시험으로 구성되어 있음
- : 15개의 부품(밸브, 압력조절장치, 안정기, 온도 및 압력센서, 필터, 커플링 등) 내외부의 누설과 Duty Cycle, 부식, Pressure Cycling에 대한 내구성을 시험함.
- : 재료인증시험은 탱크시편을 통해 수소 적합성, 금속의 물성치, 비금속의 물성치(seals, fibers, polymer liner), 내부식성, 내경화성, 고온크리프에 대한 저항성, 압력조절장치(PRD)의 온도거동, 복합재의 전단력, 복합재의 Glass Transition, 그리고 Plastic Liner의 연성온도, 용융점등의 시험을 실시함
- 극한상태의 고압용기 시험항목
 - **Burst** : 탱크의 폭발압력이 설계치(23,500 psi)를 초과하였을 때 폭발하는지, 폭발모드는 축방향인지 검증
 - **Ambient-Temperature Pressure Cycling** : 탱크가 자동차의 수명연한에서 압력사이클에 따른 충분한 피로수명 검증

- **Open Flame** : 탱크가 연소온도에 도달하고 폭발한계점에 미치기 전에 수소를 방출하기 위한 탱크와 압력조절장치의 함수관계를 확인
 - **Penetration** : 탱크에 구멍이 뚫렸을때 폭발하지 않는가를 확인
 - **Extreme-Temperature Pressure Cycling** : 극한 온도조건(+85 ~ -40℃)에서의 압력주기에 견디는지에 대하여 확인
 - **Impact Damage** : 탱크를 낙하하였을 때 탱크의 수명과 성능에 영향이 없는지 확인
 - **Permeation** : Plastic Liner를 통한 수소의 침투가 2Ncc/I/h를 초과하지 않는지 확인
 - **Bonding Strength** : 500 Nm 이상의 토크를 작용시켰을 때 탱크가 설계된 폭발압력이하에서 폭발되지 않음을 확인함으로써 금속지지부와 Plastic Liner사이의 기밀을 검증
 - **Hydrogen Gas Cycling** : 수소 노출주기(exposure cycling)가 탱크의 Liner/End-Boss에 미치는 영향을 확인
 - **Environmental Robustness** : 탱크 내외부에 노출되어 있는 화학물질에 주기적 압력을 작용시켰을 때 누설 및 침하가 없는 가를 확인
- 액체수소 연료 고압용기
- : 액체상태로 수소 저장은 단위 체적당 에너지 밀도의 최고 수준이나, 충분히 장기간 동안 -253℃의 온도로 수소를 유지하는 것이 필요함
 - : 운전자나 승객석의 위에 설치되는 고압용기는 연료고압용기와 내부 사이에 설치된 SPILL PAN을 가져야 하는데 그것은 내부로 들어오거나 유리창에 떨어지거나 문 또는 비상구로 떨어지는 액체를 막고 빗물이 고이지 않도록 설계되어야 함
 - : 게다가 SPILL PAN DRAIN은 엔진부분, 머플러 지역, 축전지 박스 또는 다른 위험한 위치에 향하지 않아야 함
 - : 중요한 주의는 액체수소가 작은 온도 증가는 큰 액체 체적을 발생하기 때문에 과충진해서는 안된다는 것이고, 이러한 이유 때문에 액체 꼭 채우는 것은 아주 빠른 압력 증가를 발생함으로 인해 고압용기를 보호하도록 주의해야 함

나. 선진국 안전성평가 기술개발 동향

1) 미국 수소연료전지자동차 안전기준 연구 동향

- 미국 DOT의 NHTSA(National Highway Traffic Safety Administration)은 2004년에 수소 및 대체연료 자동차에 대한 안전기준 연구를 준비하여 2005년부터 4개년 계획으로 진행하고 있음
 - NHTSA의 연구개발 프로그램은 수소, 연료전지 및 대체연료 자동차에 대한 안전성을 확보하는 연구로서 수소 동력 연료전지와 내연기관을 대상으로 하고 있음
 - 이러한 안전성 확보 연구개발은 DOE의 FreedomCAR Program과 USCAR (U.S Council for Automotive Research) 의 수소 연료 자동차 실용화 사업과 연계되어 있음
- NHTSA의 목표는 수소 내연기관 및 연료전지 자동차들이 미국 내에서 운행되고 있는 통산적인 자동차와 동등한 수준의 안전성을 확보하는 것으로 목표로 하고 있음
- NHTSA의 연구 계획과 연계된 활동
 - 외부 활동
 - National/International Voluntary Standards Organization, Codes and Standards
 - Expand Outreach to the Public Safety Community
 - Information Collection : DOE, CAFCP, EPA, AQMD,
 - 자동차 안전 연구
 - Powertrain, Vehicle Fuel Container & Delivery System 성능시험
안전장치의 효율성, 누설감지, 화재 예방, 도로 노출 등
 - 충전장치 및 충전소 성능시험
충전시 누설, 충전시 정전기 및 그라운드 등
 - 실차 성능시험
 - Crash : FMVSS 208, 214, 301, 302, 303, 304, 305 적합성

- Leakage : 주차시 등 밀폐공간의 수소 누설 측정
- Electrical Isolation : 연료전지, 냉각장치 및 보조 배터리
- Incident Management : 교통사고 후 승객, 구조원, 견인 등
- Special Crash Investigation : 실제 교통사고에 대한 조사
- Recycling : 유해 / 위험 물질 사용
- CAFE(Corporate Average Fuel Economy) 분석 및 평가
- International Regulation/Policy and Harmoization
 - UN ECE WP29 Hydrogen/Fuel Cells Working Group
 - Canada, EU, Japan 안전기준 개발 분석

<표 7> NHTSA 수소연료전지 자동차 안전성 확보 개발 계획

내 용	1년차	2년차	3년차	4년차
1. Powertrain, Vehicle Fuel Container & Delivery System 성능시험				
1.1 누설감지와 충돌시험시 수소대체물질				
1.2 고압 및 액체 수소탱크 파괴시험				
1.3 누설감지 평가방법				
1.4 연료전지, 배터리의 제어장치에 대한 Thermal 및 Electrical 평가				
1.5 수소 긴급 배출 및 차단전략에 대한 안전 장치 평가				
1.6 수소 및 전기방전에 의한 화재위험				
1.7 도로 돌출물에 의한 주행안전				
2. 충전장치 및 충전소 성능시험				
2.1 충전시 과충전, 누설 방지				
2.2 접지 및 정전 스파크 평가				
3. Full Vehicle Performance Test				
3.1 FMVSS 208, 214, 300				
3.2 주차시 환기장치 누설평가				
3.3 고전압시스템 전기안전성				
3.4 교통사고 후 승객, 구조, 견인 등에 대한 연구				
3.5 Special Crash Investigation				
4. CAFE(Corporate Average Fuel Economy)				
4.1 CAFE 분석 및 평가				
5. International Regulation/Policy and Harmoization				
5.1 ECE WP29- GR 활동				
5.2 대체연료자동차 경제성 분석				

2) 일본 수소연료전지자동차 안전기준 연구 동향

○ 일본에서는 2002년 12월 도요타와 혼다의 리스판매를 위해서 자동차관련

일부규정을 완화하고 2005년까지 필요한 안전규정을 정비하는 것을 목표로 연료전지자동차의 법규를 정비했음

- 일본은 또한 현재까지 다양한 수소연료전지차 및 수소연료전지에 대한 안전기술연구를 수행하여 수소에너지사회를 대비하고 있는 것으로 판단됨
- 일본 국토교통성, 2004년 11월, 연료전지차량용 고전압 및 고압수소에 대한 Technical Standard를 제시하였으며, 이에 대한 목차는 아래와 같음

- Attachment 100 : Technical standard for fuel systems of motor vehicles fueled by compressed hydrogen gas

1. Scope
2. Definitions
3. Requirements: Container attachments, Overflow prevention valve, Pressure reducing valve, Safety device, Gas containers/piping, Gas filling port, Purge, Detection of hydrogen gas leakage, Pressure gauge and residual amount meter

Attached sheet 1: Airtightness and ventilation test

Attached sheet 2: Measurement of hydrogen concentration of purged gas at time of discharge

Attached sheet 3: Test for hydrogen gas leakage detector, etc

Reference: Installation of hydrogen gas leakage detector in fuel cell vehicles

- Attachment 101: Technical standard for protection of occupants against high voltage in fuel cell vehicles

1. Scope
2. Definitions
3. Requirements for protection from electrical shock: Protection against direct contact, Protection against indirect contact, Insulation resistance, Protection against electrical shock due to fuel cell stack refrigerant

Attached sheet 1: Protection against direct contact with energized components

Attached sheet 2: Warning sign for protection against electrical shock

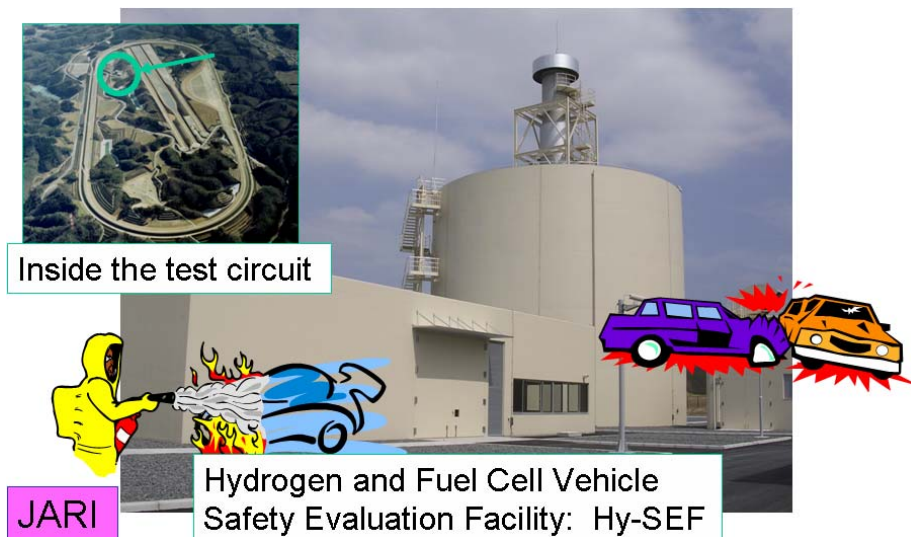
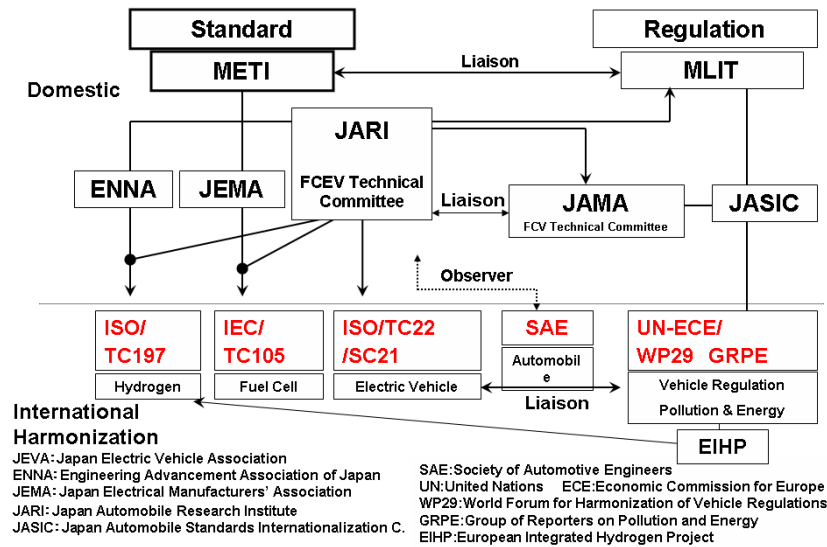
Attached sheet 3: Insulation resistance measurement method

Attached sheet 4: Confirmation method for functions of monitor of drops in insulation resistance

Attached sheet 5: Function confirmation method of power supply shut-off at time of electric leakage

- 일본, 국토교통성에서는 2005년 12월 수소 에너지(energy) 사회에 있어서의 인프라스트럭처(infrastructure) 및 도시·주택에 관한 연구를 수행하여 연구결과를 발표한 바 있음
 - 여기에서 국토교통성은 미래 수소사회에 대해 각국 및 일본의 시나리오를 점검하고 차량용 인프라스트럭처를 포함한 도시, 주택의 전반적으로 필요한 부분에 대해 향후 대비책을 마련하기 위한 기초연구를 수행한 것으로 판단됨
- 일본 NEDO에서는 2005년 3월 발표에 의하면, 연료전지자동차의 안전시험법 및 안전기술연구에 대한 발표를 수행하였으며, 이를 토대로 국제기술표준 및 국제안전규제를 확립하기 위하여 노력하고 있음
 - 일본은 또한 MLIT와 MLTI의 지원을 받아 JARI를 중심으로 이와 같은 노력을 추진하고 있으며, JARI의 연구소에는 수소연구에 필요한 HySEF를 설치하여 많은 연구결과를 확보하고 있으며, 국제사회를 선도하고 있다고 판단됨

Codes, Standards, and Regulations



<그림 5> 일본 수소연료전지자동차 안전기준 및 표준

다. 선진국 기술개발 동향

1) 전반적인 동향 및 기술개발 수준

- 자동차용 연료전지 운전장치 부품 및 시스템 개발은 자동차부품 전문회사, 연료전지 전문회사 및 자동차 회사를 중심으로 이루어지고 있음
- 자동차 부품 전문회사로는 일본의 Toyota Industry사와 미국의 Honeywell 사 등이 대표적임
 - 일본의 Toyota Industry사는 FCV용 에어 컴프레서와 수소재 순환 펌프

를 개발하여 현재 소량 시판중인 Toyota사의 연료전지자동차에 공급하고 있음

- 미국의 Honeywell사는 FreedomCAR 프로젝트의 일환으로 미국 에너지부(DOE)로부터 자금을 지원받아 공기공급 장치중의 하나인 터보차저(turbocharger) 개발에 박차를 가하고 있음
- 이와 같이 연료전지 운전장치의 부품개발은 주로 자동차부품 전문회사를 중심으로 이루어지고 있음

○ 연료전지 전문회사의 경우에는 연료전지 시스템을 중점적으로 개발하고 있는데 미국의 UTCFC사와 캐나다의 Ballard사가 대표적임

- 미국의 UTCFC사는 상압형 연료전지 시스템을 개발하고 있으며, 스택내의 물 회수를 원활하게 하여 스택 성능을 향상시킬 수 있는 열 및 물관리 시스템, Blower를 이용하는 공기 공급 시스템과 수소 재순환 시스템을 개발하고 있고, 또한 빙점이하 저온 시동 시스템 개발을 추진하고 있음
- 이와 반대로 캐나다의 Ballard사는 고압에서 작동하는 연료전지 시스템을 개발하고 있는데 고효율 compressor/expander의 개발과 가습기 및 물 회수 시스템의 모듈화를 통한 차량 장착성 및 양산성 향상에 힘쓰고 있으며 연료전지에 공급하는 공기 및 수소량을 차량의 운전 상태에 따라 제어함으로써 최적의 효율을 내게 하는 시스템 운전 제어 기술을 개발하고 있음

○ 자동차회사로는 세계적으로 주요한 일본의 Toyota와 Honda, Nissan 그리고 미국의 GM과 Ford, 독일의 DaimlerChrysler와 같은 자동차회사들이 연료전지 운전장치 시스템 개발을 추진하고 있으며, 이 회사들은 연료전지 스택의 개발에 있어서는 회사의 기술력 및 전략에 따라 다양한 개발 모델을 가지고 있음

○ 일본의 Toyota와 Honda, 미국의 GM은 자체 스택 개발을 추진하여 상당한 기술력을 확보하고 있는 것으로 알려지고 있으며, Ford와 DaimlerChrysler는 Ballard社의 연료전지 스택을 활용하여 연료전지자동차를 개발하고 있는 것으로 알려져 있음

○ 연료전지 운전 장치 시스템 개발은 모든 자동차 회사들이 독자적인 개발을 추진하고 있는 것으로 알려지고 있음

- Honda는 독자적인 연료전지 스택의 개발을 진행 중에 있으나 현재 대부분의 연료전지자동차는 Ballard사의 스택을 사용하고 있음
- 연료전지 운전 장치 시스템은 독자적인 개발을 추진하여 Ballard사의 스택을 사용하고 있는 다른 자동차 회사 중 가장 성능이 우수한 연료전지 자동차를 개발하였음

◎ 연료전지 운전 장치 부품의 개발 현황

○ 공기공급계 개발

- 공기공급기(Air Blower 또는 Compressor)

현재 산업용으로 개발된 공기공급기는 운전영역(유량 및 토출압력), 효율, 무게, 소음 및 응답성 등에서 연료전지 차량용으로 적용하기에 부적합하여 차량의 운전 요구조건에 적절하도록 개발되고 있음

- 연료전지용 에어필터

입자(먼지)제거 기능과 더불어 스택의 촉매에 악영향을 미치는 공기 중의 유해물질인 CO, SOx 및 HC 등을 제거하는 기능의 필터를 개발 시험 중에 있음

- 가습기 : 막가습 및 스택내부가습 방식을 적용하여 시스템 최소화 주력

○ 수소공급계 개발

- 수소재순환장치

재순환용 블로어 및 이젝터를 이용한 수소이용률 증대 목적

<표 3> 수소 재순환 시스템 적용 현황

회사명	수소 재순환 시스템 형태
Ballard (DaimlerChrysler)	Ejector Type
UTCFC	Blower Type
Honda	Ejector Type
Nissan	Ejector, Blower 혼합형

○ 열관리계 개발

- 냉각모듈

운전온도와 대기온도의 적은 온도차에 의한 방열문제를 해결하기 위한 고효율 라디에이터 개발

- 저온시동성

현재까지는 0℃ 이상에서만 운전이 가능하지만 영하 30℃ 이하에서 시동하기 위한 기술 개발하고 있으며 신 부동액 개발 중

○ 각국 정부는 연료전지 기술개발에 대하여 미래의 산업분야를 개발한다는 개념으로 산업계 및 학계와 연계하여 막대한 연구개발비를 지원하고 있음.

- 미국의 경우 에너지부(DOE)를 중심으로 Freedom Fuel이나 FreedomCAR와 같은 정부지원사업을 통하여 연료전지 관련분야에만 2002~2004년동안 4억 7천8백만 불을 집중 투자하고 있음

- 일본의 경우 METI(통산성 공업기술원)를 중심으로 NEDO 계획의 일환으로 연료전지 관련분야에만 PEFC Demo project를 통하여 2001~2003년 동안 660억 엔을 투자하고 있으며, EU의 경우에는 FP6 과제를 통해 2002~2006년까지 175억 유로를 투자할 계획임

- 중국의 경우에도 조기에 집중적인 투자를 통한 기술개발을 위해 863 project를 통해 연료전지 관련분야에 연간 1400억원을 투자하고 있는 실정이며, 자동차 산업계에서는 이와는 별도로 막대한 자체 연구개발비를 투자하고 있으며, 이러한 개발비 부담을 줄이기 위하여 전략적 제휴관계에 있는 자동차회사와 자동차 부품회사들 간의 공동개발 형태로도 연료전지 관련 기술개발을 진행하고 있음

○ 관련 기술의 표준화를 선점하기 위한 다양한 형태의 노력들이 California Fuel Cell Partnership과 같은 Demo Program 등을 통하여 자동차 이외의 관련 산업분야와 연계하여 진행되고 있음

2) 자동차 제작사

○ 세계적인 자동차 업체 도요다, 혼다 및 미국 Big 3는 연료전지 자동차를 중심으로 한 차세대 시장의 헤게모니를 놓고 이미 치열한 각축을 벌이고 있음

- 일부는 이미 내연기관 자동차에 근접하는 동력성능 목표를 확보하였고, 다른 업체들도 기술개발에 박차를 가하고 있음

<표 4> 업체별 연료전지자동차 동력성능 비교

회 사	모 델 (발표년도)	동력 종류	출력성능	주행거리	최고속도
Toyota	SUV (2002)	연료전지-배터리 하이브리드	90 kW	290 km	155 km/h
Honda	FCX (2002)	연료전지-축전지 하이브리드	85 kW	355 km	150 km/h
GM	Hy-wire (2002)	연료전지	94 kW	129 km	160 km/h
Ford	Advanced Focus FCV (2002)	연료전지-배터리 하이브리드	85 kW	290 km	N.A.
DaimlerChrysler	F-Cell (2002)	연료전지-배터리 하이브리드	85 kW	145 km	140 km/h

※ 혼다와 도요다가 연료전지자동차 업계에서도 독보적인 역량 과시

※ 미국의 Big 3는 합자 등을 통하여 공동전선을 형성하고 있으며, 일본 업체와의 기술제휴도 마다하지 않는 적극적인 공세를 펼치고 있음

○ 도요타 자동차

- 2006년 세계 1위의 자동차 생산업체인 도요타도 연료전지자동차는 1992년부터 이미 개발을 시작했음
- 다임러 벤츠(현 다임러 크라이슬러)에 이어 1996년 10월에 최초의 연료전지자동차를 발표했음
- 이미 발표한 RAV-4의 전기자동차를 바탕으로 도요타가 자체적으로 개발한 연료전지를 탑재한 FCEV 였고, 이 연료전지 자동차의 특이한 점은 수소 저장을 수소 흡착합금을 이용한 방식이었음
- 97년에는 역시 RAV-4를 베이스로 하면서도 메탄올 개질형 연료전지자동차를 발표하였는데, 연료전지의 최고출력은 25 kW, 교류동기형 모터는 최고출력 50 kW 였으며, 니켈수소 배터리를 갖추고 감속시에는 에너지 회생도 할 수 있는 것으로, 최고속도는 125 km/h, 항속거리는 500 km로 흡착합금탱크의 경우보다 2배로 늘었고, 이 RAV-4베이스의 연료전지자동차는 모터처럼 구동되지만 그 동력원인 전기는 배터리와 연료전지의 2가지를 갖고 있기 때문에 당시 「연료전지 전기자동차」라 불리며 FCEV 라 불렸음
- 도요타는 2001년에 독자적인 연료전지 스택을 사용한 다른 타입의 연료전지자동차 3종류 (2월에 수소흡착합금 탱크를 탑재한 FCHV-3, 6월에

압축수소탱크를 탑재한 FCHV-4, 10월에 CHF(클린 하이드로 카본 연료)개질형 FCHV-5)를 발표했는데, 이 자동차들은 도요타의 SUV 모델인 “크루거 V”를 베이스로 한 것으로, 90 kW의 연료전지와 80 kW의 교류동기 모터, 그리고 니켈수소전지를 탑재하고 있으며, 주요 부품은 후드 또는 후단 차체 아래에 배치하고 가솔린 자동차 수준의 실내공간을 확보했고, 일본 국내에서의 실용화 프로젝트와 함께 이미 시작한 CaFCP(캘리포니아 연료전지 파트너십)에, FCHV-4를 가지고 참가하여 캘리포니아에서의 시험주행을 시작하였음

- 2002년 7월에 갑자기 연료전지자동차를 시판하겠다고 발표한 것은 세계 최초의 연료전지자동차의 판매하여 도요타의 환경기술의 우수성을 홍보하려는 것이 목적인다고 생각됨
- 일본과 미국의 관공청 등에 리스판매 형식으로 판매한 것은 실용화하기 보다는 시험적인 판매였으며 본격적인 실용화를 위한 실증시험에 의미를 부여하고 있음.

: 2002년 12월 2일, 일본 중앙관청에 FCHV 4대가 납품되었음

- 도요타의 2002년내 판매한다는 소식을 들은 혼다도 같은 해 안에 발매하기로 결정하고 혼다도 FCX 1대를 동시에 판매 것으로 판매시기의 경쟁은 도요타, 혼다가 동시에 되었음

: 도요타가 판매한 차량은 고압수소탱크를 장착한 FCHV -4를 다시 개량한 연료전지자동차임



<그림 6> Toyota FCHV 연료전지 자동차

<표 8> Toyoya FCHV 제원

Company	Toyota Motor Corporation
Vehicle name	TOYOTA FCHV
Size(LxWxH)	4,735 x 1,815 x 1,685 mm
Weight	1,880 kg
Seating capacity	5 passengers
Max. speed	155 km/h
Cruising range	330 km (10.15 mode)
Motor	AC synchronous motor
Max. motor output	90 kW (109 PS)
Max. motor torque	260 N-m (26.5 kg-m)
Type of fuel cells	Solid polymer
Fuel cell battery output	90 kW
Fuel cell battery name	TOYOTA FC Stack
Secondary battery	Nickel-hydrogen battery
Type of fuel	Pure hydrogen
Fuel storage	High-pressure hydrogen tank
Fuel pressure	35 MPa

- 2003년 37회 동경 모터쇼는 “인휠모터”라는 혁신적인 패키지의 FCHV 컨셉트카인 “Fine-N”을 발표했다

: FCHV의 특징은 우선 연료전지 스택, PCU(파워 컨트롤 유닛), 배터리, 수소탱크 등의 중량부품을 차체 바닥 하단에 최적 배치한 것이며, PCU는 콤팩트하며 고효율의 것으로 연료전지 스택도 150 mm로 박형이며, 바닥 아래 수납이 용이하게 되어있고, 수소탱크는 70 MPa로 대폭 고압화하였으며, 연료전지 시스템의 효율화와 맞물려 항속거리는 500 km이고, 4륜 인휠 모터시스템 채용으로 4륜 구동력, 제동력을 독립적으로 연속 제어하고 있으며, 1륜당 최고출력 25 kW, 최대토크 110 Nm의 소형 경량고효율 모터를 각 차륜 내에 배치하였음

: 이러한 시스템은 하중량이 증가하는 결점도 있지만, 차량 주행상태와 노면상황 등에 대한 조향성능, 4륜 가/감속을 바이와이어로 최적으로 통합 제어하고 있고, 바이 와이어시스템은 조작계통과 차량을 움직이는 액츄에이터 사이를 전자제어하여 최적으로 컨트롤하는 것으로, 차량의 운동성능 향상을 모색하고 있으며, 기계적인 접촉에 의한 제어가 없어서 운전자의 체격이나 취향에 맞춘 조향핸들 위치, 페달 위치의 조정범위가 확대되었고, 유닛을 배치하는 자유도가 증가하여 자동차의 획기적

인 디자인이나 패키지를 가능하게 해주고 있음

: “Fine-N”에서는 연료전지와는 직접 관계는 없지만 “생체인증 시스템”을 채용하고 있으며, 이것은 자동차가 운전자의 얼굴을 인증하는 것으로 확실한 보안과 미리 세팅된 정보에 의해 좌석 위치, 오디오, 공조 등을 각 운전자에게 맞춰주는 것임



<그림 7> Toyota Fine - N 자동차

- 도요타는 히노자동차와 공동으로 연료전지 버스 개발도 추진했는데 2002년 10월에는 그 2호차에 해당하는 FCHV-BUS2의 실증시험을 시작했으며, 2003년 8월에는 동경도에 납품했으며, 이 연료전지 버스는 60인승의 대형버스로 350 MPa의 압축수소는 탱크 5개를 지붕에 설치하고 있고, 도요타의 90 kW의 연료전지 스택을 2대 탑재하고 니켈수소전지를 2차전지로서 지니는 하이브리드형으로 최고속도 80 km/h, 항속거리는 250 km임.



<그림 8> Toyota FCHV-BUS

<표 9> Toyota FCHV-BUS 제원

Company	Toyota Motor Corporation Hino Motors, Ltd.
Vehicle name	FCHV-BUS
Size(LxWxH)	10,515 x 2,490 x 3,360 mm
Weight	-
Seating capacity	65 passengers
Max. speed	80 km/h
Cruising range	-
Motor	AC synchronous motor
Max. motor output	160 kW (80 kW×2)
Max. motor torque	520 N·m (260 kg·m ×2)
Type of fuel cells	Solid polymer
Fuel cell battery output	90 kW × 2
Battery name	Toyota FC Stack
Secondary battery	Nickel-hydrogen battery
Type of fuel	Pure hydrogen
Fuel storage	High-pressure hydrogen tank
Fuel pressure	35 MPa

○ 혼다자동차

- 저공해 자동차에 대한 대응이 빨랐던 혼다였지만, 연료전지자동차를 처음으로 발표한 것은 1999년이기 때문에 빠르다고 할 수 없지만, 2002년

12월 2일에 도요타와 함께 가장 먼저 리스판매를 시행 했으며, 납품한 것은 고압수소 탱크를 가진 FCX로 일본 중앙관청에 1대, 미국 로스앤젤레스 시에 1대, 합계 2대임

- 1999년 10월에 혼다는 2종류의 연료전지를 탑재한 자동차를 처음으로 발표했음.

: FCX-V1은 Ballard Power Systems 60 kW의 연료전지 스택에, 수소흡장합금 탱크를 탑재하였고, FCV-V2는 혼다 자체개발한 연료전지 스택을 가지고 메탄올 개질형태의 연료전지 자동차였으며, 전기자동차 EV 플러스의 차체와 혼다가 개발한 49 kW 교류동기 모터를 사용했음

- 2000년 9월에는 FCX-3을 발표하였는데 캐퍼시터를 설치한 하이브리드 시스템의 연료전지 자동차로, 혼다 개발의 연료전지스택과 25 MPa의 고압수소 탱크를 탑재했고, 대폭적인 소형경량화에 노력하여 어른 4명이 탈 수 있게 되었으며, 2001년 2월에는 CaFCP의 실증테스트에 참가했고, 캐퍼시터는 이미 발표되었던 하이브리드자동차 인사이트의 개발 단계에서도 탑재되었으며 전기자동차인 EV 플러스의 기술과도 합쳐 모터구동, 에너지 제어 등의 기술은 확립되었다고 볼 수 있음
- 2001년 9월에는 FCX-V4를 발표하고 동시에 도요타를 견제하기 위하여 2003년부터 시판할 것이라고 발표했으며, 연료전지스택은 Ballard Power Systems이고, 수소탱크의 압력을 35 MPa, 항속거리는 180 km에서 315 km로 늘었고, 각 부분을 개량하였음
- 2002년 7월에는 미국에서의 판매에 필요한 EPA(미국 환경보호국)과 CARB(캘리포니아 대기자원국)의 인정을 세계에서 처음으로 취득했고, 2002년 11월에 일본 국토교통성의 인정을 취득하여 이 해의 12월 2일에 세계 첫 리스판매를 일본과 미국에서 실시하였음
- American Honda Motor Co.는 캘리포니아의 Jon Spalliano가와 수소연료전지 자동차를 월 500\$에 임대하는 2년 임대 계약을 서명함으로써 혼다는 연료전지 자동차를 개인에게 제공하는 세계최초의 업체가 되었고, 그 후에도 일본에서는 환경성과 경제산업성에 1대, 미국에서는 LA 시에 2대 납품하였음
- 2003년 10월에는 저온시(-20℃)의 시동과 더욱 소형화된 차세대 연료전

지 스택 “Honda FC STACK”을 발표하고, FCX에 탑재하여 제37회 동경 모터쇼에 출품했음

: 스택 1대의 중량은 48 kg으로 과거 FCX -V3에 탑재한 스택의 73 kg보다도 대폭 경량화 되었고 출력은 35 kw에서 50 kw로 업그레이드되었으며, 경량화가 가능했던 이유 중 하나는 금속을 프레스 성형한 세퍼레이터를 채용했기 때문임

: 금속 세퍼레이터에 관해서는 스테인레스계 소재를 사용하여 일본 소재 메이커와 공동으로 개발했음

: 소재 자체는 카본보다도 무겁지만 강도가 높기 때문에 얇게 할 수 있고 결과적으로는 경량화를 이루었고, 또 스택을 고정하는 볼트가 없고, 셀에 대해 일정압을 제어하는 접시 용수철을 삭제 한 것도 경량화에 크게 도움이 되었으며, 접시용수철이 없는 대신에 금속세퍼레이터 자체의 용수철성을 이용하여 적절한 하중을 유지하는 구조임

: 하나의 스택에는 세퍼레이터를 200장 사용하였으며, 코스트는 세퍼레이터 1장당 100엔 정도가 목표임

: 내부식성에 대해서도 문제도 없으며, 세퍼레이터를 금속으로 하고 일체화하여 냉각수가 누설되는 위험성이 없어진다는 장점도 있음.

: 전해질 막에는 아로마틱 전해질막을 채용하였으며, 엔지니어링 플라스틱의 일종으로 소재메이커와 공동개발했고, 불소계 전해질막보다도 강도, 내열성이 높은 것이 특징으로 앞으로 기존의 자사 스택보다 15℃ 높은 95℃에서 발전이 가능함

: 전해질막 자체에 빙점하에서도 얼지 않는 특징이 있을 뿐만 아니라 자동차 자체에도 주행후 물을 배제하는 기구를 추가했고, -20℃에서의 막저항도 기존의 자사제 스택의 1/2이며 금속 프레스 세퍼레이터의 열전도성이 높아서 -20℃에서 시동할 수 있게 되었다고 함. 난기시간도 기존의 1/5로 짧아져 실용성도 향상되었고, 신형스택을 탑재한 FCX의 에너지효율(LA4 모드)는 기존형의 45%를 능가하는 50% 로서 앞으로 60%~70%까지 향상될 전망임

- 혼다는 지금까지 2002년 12월에 Los Angeles시에 5대, 2004년 3월에 Los Angeles시에 2대, 같은해 8월에 캘리포니아 대기관리국(SCAQMD) 에 2대, 2004년 10월에 Chula Vista시에 1대의 합계 10대를 리스 판매했으며,

동사의 연료전지 자동차로서는 처음으로 미국 주정부가 판매처가 되었고, 2005년부터 한냉지를 포함한 지역에서의 리스판매를 계획하고 있으며, 미국에서는 이미 2004년 12월부터 뉴욕주에 리스 판매하고 있음



<그림 9> Honda FCX

<표 10> Honda FCX 제원

Company	Honda Motor Co. Ltd.
Vehicle name	FCX
Size(LxWxH)	4,165 x 1,760 x 1,645 mm
Weight	-
Seating capacity	4 passengers
Max. speed	150 km/h
Cruising range	355 km
Motor	AC synchronous motor
Max. motor output*	60 kW (82 PS)
Max. motor torque	272 N-m
Type of fuel cells	Solid polymer
uel cell battery output	78 kW
Supplier	Ballard Power Systems
Secondary battery	Ultra capacitor
Type of fuel	Pure hydrogen
Fuel storage	High-pressure hydrogen tank
Fuel pressure	35 MPa

○ 닛산자동차

- 닛산자동차는 1997년 제32회 동경모터쇼에서 처음으로 연료전지 자동차의 mock-up을 전시했음
- 당시의 닛산은 EV(전기자동차)의 연장선상에서 연료전지 자동차를 파악하고 있었던 듯하며, “스스로 전기를 만들면서 달리는 EV”라고 설명했고, EV에 관해서는 리튬이온전지와 강력한 자계를 지닌 영구자석을 사용한 동기 모터의 조합인 “프레일리 EV”를 이미 발표했지만 다시 이 시스템을 탑재한 “르넛사”도 등장시키는 등 전기자동차에 대한 기대가 컸음
- 발표한 연료전지자동차는 메탄올 개질형이었고, 직접 수소를 탑재하는 방식으로 수소 흡장합금, 압축수소로 해도 중량이나 수소를 취급하는데 난점이 있었으며, 개질형은 액체연료이기 때문에 보급이 빠르고 취급도 용이해서 그때까지 전기자동차에서 문제가 되었던 충전시간이 걸린다는 문제가 해결되고, 보다 앞선 전기자동차로서 보여 졌고, 실제로 연료전지 자동차의 실주행 시험에 있어서는 Ballard Power Systems에서 연료전지 스택을 구입하고 “르넛사 EV”를 개조하여 탑재했으며, 이것도 메탄올 개질형이었으나 2000년에 압축수소를 실은 X-TERRA FCV를 발표하고 이것으로 2001년 4월부터 CaFCP에 참가하여 실증사업에 착수함
- 2002년 12월에는 역시 압축수소형 연료전지차 X-TRAIL FCV에서 국토교통성 인정을 취득하고 JHFC(수소·연료전지 실증연구 프로젝트)의 실증사업에 참가했고, 연료전지자동차는 연료전지에 미국의 UTCFC사와 공동개발한 스택을 사용하고 2차전지에 리튬이온 배터리를 갖춘 하이브리드 방식이며, 모터는 출력이 58 kW의 감속기 일체형 동축 모터, 수소탱크의 압력은 표준적인 35 MPa, 최고속도 125 km/h, 항속거리는 200 km 이상임
- 또한 연료전지스택에 대해서는 Ballard Power Systems사 것으로는 기술적인 노하우를 얻을 수 없기 때문에 향후에도 계속해서 UTCFC사와 공동개발 해나갈 것이라고 하고, 르노와 연료전지에 관한 공동개발도 추진하여 5년간 850억엔의 연구비를 투자할 계획을 공포함



<그림 10> Nissan Fuel Cell Vehicle

<표 11> Nissan X-Trail 연료전지 자동차 제원

Company	Nissan Motor Co.,Ltd.
Vehicle name	X-TRAIL 연료전지 자동차
Size(LxWxH)	4,485 x 1,770 x 1,800 mm
Weight	-
Seating capacity	5 passengers
Max. speed	145 km/h
Cruising range	350 km
Motor	Coaxial motor including a reduction gear
Max. motor output *	85 kW
Max. motor torque	-
Type of fuel cells	Solid polymer
Fuel cell battery output	-
Supplier	UTCFC in the U.S.A
Secondary battery	Compact lithium ion battery
Type of fuel	Pure hydrogen
Fuel storage	High-pressure hydrogen tank
Fuel pressure	35 MPa

○ 미쓰비시 자동차

- 미쓰비시 자동차는 연료전지에서는 다소 늦은 감이 있었지만 히타치중공

업과 공동으로 개발을 추진했고, 1999년에 메탄올 개질형 40 kW 연료전지와 히타치전기 40 kW 영구자석식 교류동기 모터를 탑재한 컨셉트카를 발표했음

- 그러나 다임러 크라이슬러와의 자본제휴가 이루어지면서 히타치중공업과의 연료전지 개발의 공동사업은 중지되고, 다임러 크라이슬러와 공동으로 개발을 추진하게 되며, 포드와 메탄올 개질방식의 연료전지 자동차를 개발했으나 이 방식은 메탄올의 공급 인프라가 정리되지 않았고, 기술이 불안정한 이유로 방향을 전환하여 수소 직접주입방식을 채용함.
- 미쯔비시는 “그란디스”를 베이스로 하여 연료전지 스택에는 최고출력 68 kW의 Ballard Power Systems Mk902를 채용, 모터는 정격출력 45 kW, 최대 65 kW로 2차전지로 니켈수소 전지를 사용하고 있고, 압축수소탱크 3개를 탑재했으며, 미쯔비시는 이 연료전지자동차의 인정을 신청했으며 2003년 JHFC 프로젝트에 참가하였으나, 2006년 2단계 JHFC 프로젝트에는 참가하지 않고 있음



<그림 11> Mitsubishi Motors Fuel Cell Vehicle

<표 12> Mitsubishi Motors Corporation 연료전지 자동차 제원

Company	Mitsubishi Motors Corporation
Vehicle name	MITSUBISHI 연료전지 자동차
Size(LxWxH)	4,755 x 1,795 x 1,690 mm
Weight	2000 kg
Seating capacity	5 passengers
Max. speed	140 km/h
Cruising range	150 km
Motor	AC inductive motor
Max. motor output	65 kW
Max. motor torque	210 N-m
Type of fuel cells	Solid Polymer
Fuel cell battery output	68 kW
Supplier	Ballard Power Systems
Secondary battery	Nickel-hydrogen battery
Type of fuel	Pure hydrogen
Fuel storage	High-pressure hydrogen tank
Fuel pressure	35 MPa

○ 마쓰다 자동차

- 마쓰다가 처음에는 수소 내연기관으로 개발하였으나 1991년에 최초의 수소 로터리 엔진을 발표했으며, 당시는 아직 연료전지가 각광을 받기 전이었음
- 그러나 1991년에 벌써 Ballard Power Systems사에서 연료전지를 대여 받아 기초연구를 시작했고, 이듬해인 92년에는 소형 카트를 개발했고, '97년에 최초의 연료전지자동차 “데미오 FC-EV”를 발표했는데, 이것은 20 kW의 출력의 고체고분자형 연료전지(PEFC)로, 역시 20 kW의 울트라 캐퍼시터를 장비했고, 수소탑재에 대해서는 수소흡장합금 탱크를 사용했음
- 마쓰다는 2003년 JHFC 프로젝트에 가솔린과 수소를 겸용으로 사용하는 RX-8 Hydrogen 으로 참가함



<그림 12> Mazda RX-8 Hydrogen RE

<표 13> Mazda RX-8 Hydrogen RE 제원

Company	Mazda Motor Corporation
Vehicle name	Mazda RX-8 Hydrogen RE
Size(LxWxH)	4,435 x 1,770 x 1,340mm
Weight	1460kg
Seating capacity	4 passengers
Max. speed	-
Cruising range	Hydrogen 100 km Gasoline 549 km
Type of engine	RENESIS Rotary Hydrogen Engine
Max. output	Hydrogen 80 kW (109 PS) Gasoline 154 kW (210 PS)
Max. torque	Hydrogen 140 N-m (14.3 kg-m) Gasoline 222 N-m (22.6 kg-m)
Type of fuel cells	Hydrogen-Gasoline switching system
Fuel cell battery output	-
Supplier	UTCFC in the U.S.A
Secondary battery	Compact lithium-ion battery
Type of fuel	Pure hydrogen
Fuel storage	High-pressure hydrogen tank
Fuel pressure	35 MPa

○ 스즈키 자동차

- 스즈키는 “애브리 EV”에 연료전지를 탑재하여 독자 개발을 추진했으나 GM과의 제휴관계가 이루어져 연료전지에 대해서도 2001년 10월에 기술 상호협력을 하는데 합의했으며, 이로써 스즈키의 연료전지개발은 크게

발전하여 2003년 10월에 경자동차 왜곤 R-FCV와 MR 왜곤 FCV의 2대를 제작하여 국토교통성의 인정을 취득함

- MR 왜곤 FCV는 기존의 엔진룸에 연료전지 스택이나 모터 등의 주요부품을 배치하고 기존의 연료탱크 위치인 후부 좌석 아래에 2개의 고압수소 봄베(35 MPa)를 두고, 충분한 승차공간과 화물공간을 확보했고, 연료전지는 GM 제품이며, 최고출력 50 kW, 모터 최고출력은 33 kW로 최대토크는 130 N·m 최고속도는 110 km/h로 항속거리는 130 km임
- 또한 스즈키는 이 모터쇼에 “모바일 테라스”라고 하는 컨셉트카를 참고출품했고, 연료전지의 동력기구를 바닥 아래에 수납한 GM의 “하이와이어 플랫폼”을 베이스로 스즈키가 패키징한 자동차로 “넓은 공간을 컴팩트하게 운반한다”는 발상에서 탄생한 것임



<그림 13> Suzuki Motor Corporation WagonR-FCV

<표 14> Suzuki Motor Corporation WagonR-연료전지 자동차 제원

Company	Suzuki Motor Corporation
Vehicle name	wagonR-연료전지 자동차
Size(LxWxH)	3,395 x 1,475 x 1,680 mm
Weight	-
Seating capacity	4 passengers
Max. speed	110 km/h
Cruising range	130 km
Motor	AC synchronous motor
Max. motor output	33 kW
Max. motor torque	130 N-m
Type of fuel cells	Solid Polymer
Fuel cell battery output	50 kW
Supplier	GM
Secondary battery	-
Type of fuel	Pure hydrogen
Fuel storage	High-pressure hydrogen tank
Fuel pressure	35 MPa

○ 다이하츠 자동차

- 다이하츠는 EV에 관해서는 1965년 이래 수많은 자동차를 시장에 내보였지만 연료전지에 있어서는 '99년 10월 경자동차 “무브 EV”에 연료전지를 탑재한 “무브 EV-FC”를 발표한 것이 처음이었으며, 이는 메탄올 개질형 연료전지를 후부 바닥 면상에 탑재한 컨셉트카로 보조전원으로 니켈수소 배터리를 갖고 있었고 도요타 계열사로 들어가면서 2001년 동경 모터쇼에서는 도요타의 연료전지와 고압수소탱크를 탑재한 “무브 FCV-K-2”를 발표함
- 2003년 1월, 2대의 FCV-K-2의 인가를 국토교통성으로 부터 받았으며 2월부터 실용화 테스트를 개시했으며, 이는 경자동차의 연료전지 자동차로서는 첫 인가였고, 수소는 25 MPa 기압의 고압 탱크에 탑재하고 항속거리는 120 km, 최고속도는 105 km/h 라고 발표했으며, 보조전원으로 니켈수소 전지를 탑재하고, 도요타의 하이브리드카의 기술을 응용하고 감속시의 에너지회생을 하고 있으며, 2003년 제37회 동경모터쇼에 전시되었고, 다이하츠로서는 경차의 미래의 역할인 도시내 컴퓨터로서 기대하

고 있음

○ 다임러 크라이슬러

- 자동차의 동력원으로서 연료전지가 유망하다는 것을 일찍부터 인식하고 개발을 추진함과 동시에 시작 자동차를 발표하여 연료전지 자동차를 리드해 온 것이 다임러 크라이슬러이며, 1997년에는 Ballard Power Systems사를 축으로 포드를 둘러싸고 Ballard Power Systems · 다임러 · 포드의 연합조직 이른바 Ballard Power Systems 얼라이언스를 만들었고, 다임러와 Ballard Power Systems의 합병기업 엑셀시스사를 설립하는 등 적극적인 움직임을 보이고 있음
- 다임러사의 최초 연료전지 자동차는 NECAR 1로 1994년 5월에 발표되었고, NECAR는 뉴 일렉트릭카의 약자로 그 1호차라는 의미이다. 베이스차는 메르세데스 벤츠벤 “트랜스포터”로 연료는 압축수소, 최고속도 90 km/h, 항속거리 130 km이었으며, 화물구역은 800 kg이나 되는 연료전지에 점령되어 좌석은 운전석과 조수석 뿐이었으나 자동차의 구동이 연료전지로 가능하다는 것을 실증한 것으로서 주목을 받았음
- 2년 후인 1996년 5월에 NECAR 2가 발표되었으며, 베이스는 벤츠 “V클래스”로 연료는 압축수소였으나 NECAR 1보다 구동계 전자장치가 소형화되고, 출력 50 kW의 연료전지 유닛은 리어시트 아래에 수납되었으며, 2개의 수소탱크는 루프에 탑재하여 실내 유틸리티는 NECAR 1과는 비교할 수 없을 만큼 커졌고, 6개의 시트를 갖추었으며, 수소저장량의 증가로 최고속도 110 km/h, 항속거리 250 km로 성능면에서도 크게 향상되어 일반 주행에 지장이 없다는 것도 실증함
- 1997년 3월, 세계 최초의 메탄올 개질형 연료전지자동차 NECAR 3가 등장하고, 소형 벤츠 “A 클래스”에 연료전지시스템과 개질기를 탑재하면서 NECAR 1에서는 50 kW의 발전에 12개가 필요하던 연료전지 스택도 2개가 되었으며, 승원 2명의 공간을 확보했고, 최고속도는 120 km/h, 항속거리는 400 km로 실용화 영역에 도달했으며, 이 연료전지 자동차를 바탕으로 다임러는 같은 해 12월에 “연료전지차를 2004년 4만대, 2007년에 10만대 생산”한다고 충격적인 선언을 하여 세계의 자동차 제작사, 에너지업계의 의식을 크게 변화시키는 계기가 되었음

- 1999년 3월에 발표한 NECAR 4는 같은 A 클래스를 베이스로 하면서도 액체수소를 채용했고, 큰 특징은 샌드위치 구조의 플로어내에 모든 전원 유닛을 수납하여 보통 A 클래스와 같은 5인승을 가능하며 70 kW의 연료 전지를 갖추고 최고속도 145 km/h, 항속거리는 450 km임
- 2000년 11월에 NECAR 4a를 발표하였으며, 이것은 CaFCP(캘리포니아 연료전지 파트너십)의 주행 테스트용으로 개발된 실험차량으로, NECAR 4와의 큰 차이점은 연료를 액체수소가 아닌 압축수소로 했다는 점이고, 이로서 시스템 중량은 3분의 2가 되고 점유공간도 2분의 1이 되었으며, 연료전지도 최적화를 하고 75 kW로 조금이긴 하지만 출력도 향상되었다. 최고속도는 145 km/h, 항속거리는 200 km임
- 2000년 11월, 메탄올개질형인 NECAR 3의 후속모델이 되는 NECAR 5를 발표하며, 메탄올 개질기를 포함한 구동시스템 전체를 플로어내에 수납하여 NECAR 3의 2인이 5인으로 되었고, 구동시스템도 크기가 2분의 1, 중량 300 kg으로 가벼워졌으며 출력은 50 % 향상했으며, 비용대비 효과가 뛰어난 소재를 사용하여 일반 승용차로서의 실용화를 목표로 한 연료 전지 자동차임
- NECAR로서의 시리즈는 이 NECAR 5까지로, 다임러 클라이슬러는 그 후속으로 2002년 10월에 F-Cell을 발표했으며, 이것은 양산형 연료전지 자동차로서의 세계 첫 차량으로 DC에 찬성한 기업, 단체의 일상사용을 통해 실용테스트를 하는 “F-Cell 글로벌 프로그램”이라는 국제적인 프로젝트를 스타트시키게 되고, 따라서 일본, 독일, 미국, 싱가포르의 4개국에 2003년부터 2004년에 걸쳐 합계 60대의 F-Cell을 공급한다는 것이고, 일본에서는 2003년 10월에 동경가스와 브리지스톤과 파트너십 계약도 맺고 실용실증 테스트도 시작했고, JHFC 프로젝트에도 참가했음
- F-Cell은 NECAR 4a와 같은 압축수소를 연료로 하고 출력 68.5 kW의 연료전지에 65 kW의 모터를 조합했으며, 최고속도 140 km/h로 제한하였고, 압축수소의 충전압은 35 MPa 이지만 항속거리는 150 km로 다소 짧으며, 최대출력 20 kW의 2차전지를 가지고 있지만 에너지 회생은 하지 않음



<그림 14> DaimlerChrysler Japan FuelCell Vehicle

<표 15> DaimlerChrysler Japan Co. Ltd. F-Cell 제원

Company	DaimlerChrysler Japan Co.,Ltd.
Vehicle name	F-Cell
Size(LxWxH)	3,785 x 1,720 x 1,610 mm
Weight	-
Seating capacity	4 passengers
Max. speed	140 km/h (under electronic control)
Cruising range	150 km
Motor	Induction motor
Max. motor output	65 kW
Max. motor torque	210 N-m
Type of fuel cells	Solid polymer
Fuel cell battery output	68.5 kW
Supplier	Ballard Power Systems
Secondary battery	Nickel-hydrogen battery
Type of fuel	Pure hydrogen
Fuel storage	High-pressure hydrogen tank
Fuel pressure	35 MPa

- 1997년에 시내 교통용 버스 “NEVUS”를 발표하였으며, 이는 후속 “시타로”로 이어지고 2002년 10월에는 양산형 시타로를 발표함과 동시에 2003년부터 유럽 주요도시 10개국에서 30대가 운행을 개시하게 되었음.
- 또한 2000년 11월에는 SUV로 Jeep 코멘더도 발표했고, 이것은 메탄올

개질형이지만 2차 전지를 탑재한 하이브리드형임

- 2001년에는 “스프린터”를 독일 소화물 배송회사에 납품하고 2년간의 실증테스트를 하고 있고 그 방법은 2003년 10월에는 세계 최대의 화물배송 회사 UPS로 이어지며, 스프린터의 연료는 압축수소로, 최고속도 120 km/h, 항속거리 150 km

○ General Motors(GM)

- GM의 연료전지에 대한 대처는 자동차의 동력원으로서 연료전지가 화제가 된 제1기, 1960년대까지 거슬러 올라감
- GM이 처음으로 연료전지의 테스트를 한 것은 1964년이고 1968년에 자동차 역사상 처음으로 주행가능한 연료전지 자동차를 시작함
- 시험차는 32개의 직렬접속한 연료전지 블록을 갖춘 소형 밴이었으며, 연료는 스틸 봄베에 의한 압축수소로, 연속출력 32kW, 항속거리도 200km 가까웠으나 전도유망한 결과를 얻었음에도 불구하고 가솔린가격의 저렴함과 환경의식의 희박함이라는 60년대의 여러 이유로 프로젝트는 지속되지 못했으며, 이러한 경과가 있었기에 그 후의 연료전지개발의 스타트에서는 GM은 다소 늦은감이 있음을 보였지만, GM과 독일 자회사 오펔과의 연휴로 연료전지개발을 본격화함
- 1998년 봄, GM/오펔은 연료전지센터를 설립하고, 양 기업의 개발 작업을 집약적으로 하게 되었고, '98년 9월의 파리모터쇼에서 오펔 더 필라를 베이스로한 첫 주행가능한 실험연구차를 발표했으며, 이 시험차는 메탄올 개질형으로, 자사 개발한 출력 50kW의 연료전지유닛과 3상 유도모터, 여기서 보조배터리를 지닌 하이브리드 자동차로서 배터리에 의한 어시스트와 함께 에너지회생도 하고 있었으며, 최고속도는 120km/h로, 정지상태에서 100km/h까지의 가속은 약 20초임
- 1999년 4월에는 GM/오펔은 도요타와 5년간 공동개발계획을 발표하고 연료전지개발로 양사가 접근하고, 10월에는 연료전지 유닛을 -20℃에서 기동시켜 곧바로 전출력으로 전력을 발생시키는데 성공했음
- 2000년 3월의 제네바 쇼, GM/오펔은 하이드로젠 1을 발표했는데, 이것은 역시 더필라를 베이스로 한 것인데 메탄올 개질이 아니라 액체수소를 탑재한 것이며, 75리터의 액체수소는 특수한 방열보호를 한 탱크로 -253℃

- 에 보호되고, 연료전지 유닛은 정격출력 80kW, 최대출력 120kW로, 모터의 출력은 55kW. 1575kg의 차중의 하이드로젠 1은 0~ 100km/h가 16초로 줄고, 최고속도는 140km/h로 항속거리는 400km임
- 2000년 10월에 GM은 CaFCP에 참가하여 하이드로젠 1으로 캘리포니아에서 주행 테스트를 시작하고, GM은 수소사회의 인프라구축을 위한 기술개발 등을 하는 Ballard Power Systems의 설립 멤버가 만든 회사인 제네럴 하이드로젠사와 제휴함
 - 2001년 9월에 하이드로젠 1을 개량한 하이드로젠 3을 발표하였으며, 이 자동차의 목적은 동력시스템의 성능, 및 일상용도에서의 편리성이 향상되었으며, 하이드로젠 1이 필요했던 부품 몇 가지가 필요 없어져 제외하고 그 결과 중량이 대폭 경감하면서 목표였던 1590kg에 더욱 가까워졌고, 하이드로젠 3에서 필요없던 부품 중에서 가장 큰 부분인 보조배터리를 제거하면서 약 100 kg의 중량 경감을 달성할 수 있었을 뿐 아니라 양산모델인 더필러보다 25 mm 높은 만큼 짐칸 바닥높이를 확보할 수 있었음
 - 완전한 연료전지 구동으로 할지 아니면 하이브리드 방식으로 할지 둘 중 어느 한쪽을 선택할지는 시장의 요구에 따라 판단해야 한다고 GM 오펔은 생각했음
 - 하이드로젠 3으로 전자 시스템에도 추가 개량하여 소형화가 진행되었음
: DC/AC 컨버터, 전기모터, P포지션부착 트랜스미션 및 전압변환기와 드라이브샤프트의 중앙에 위치한 디퍼런셜로 구성되는 일체형 모듈의 중량은 불과 92kg으로, 이 모듈은 표준 더 필라의 부착 마운트가 사용 가능하며 양산화에 한걸음 더 가까워졌고, 본넷 내를 봐도 하이드로젠 1보다 연료전지스택이 매우 작아진 것을 알 수 있으며, 정상출력도 80kW에서 94kW로, 최고출력도 120kW에서 129kW로 향상되었고, 3상비동기모터의 출력은 60kW로 최대토크는 215Nm, 최대회전수는 12,000rpm으로, 8.67:1의 기어비를 지닌 플라네타리 기어를 사용하여 전륜을 구동시키며 최고속도는 150km/h임



<그림 15> GM Asia Pacific (Japan) Hydrogen3

<표 16> GM Asia Pacific (Japan) Hydrogen3 제원

Company	GM Asia Pacific (Japan)
Vehicle name	HydroGen3
Size(LxWxH)	4,315 x 1,750 x 1,685 mm
Weight	1,750 kg
Seating capacity	5 passengers
Max. speed	160 km/h
Cruising range	400 km
Motor	-
Max. motor output	60 kW
Max. motor torque	215 N-m
Type of fuel cells	Solid polymer
Fuel cell battery output	129 kW
Type of fuel	Pure hydrogen
Fuel storage	Liquid hydrogen
Fuel pressure	-

- 2001년 10월, GM은 아이드로젠 3에 이어 세계 첫 가솔린개질형 연료전지를 발표, 시보레 S-1-픽업트럭에 탑재하고 2001년의 제35회 동경모터쇼에 전시했음

: 이 개질기는 연료전지와 조합하여 사용하면 토탈 40%의 에너지효율 향상이 가능하며 이는 통상의 내연엔진보다 50%나 에너지효율이 좋

다고 하며, GM에서는 가솔린개질형 연료전지를 수소인프라가 정비될 때 까지의 잠정적인 것으로 정하고 있는데 수소의 인프라 확립에는 몇 천억불의 비용이 든다는 것을 볼 때 10년 주기로 생각한다고 해도 가치가 있다고 보고 있음

- 2002년 9월에 GM사가 발표한 연료전지 자동차의 컨셉트카 「Hy-Wire」는 획기적인 개념을 선보였음

: 「Hy-Wire」는 수소탱크, 모터를 바닥아래에 모두 적재한 「스케이트보드형 샷시」를 채용하여 자동차의 활용성을 비약적으로 향상시킨 것임

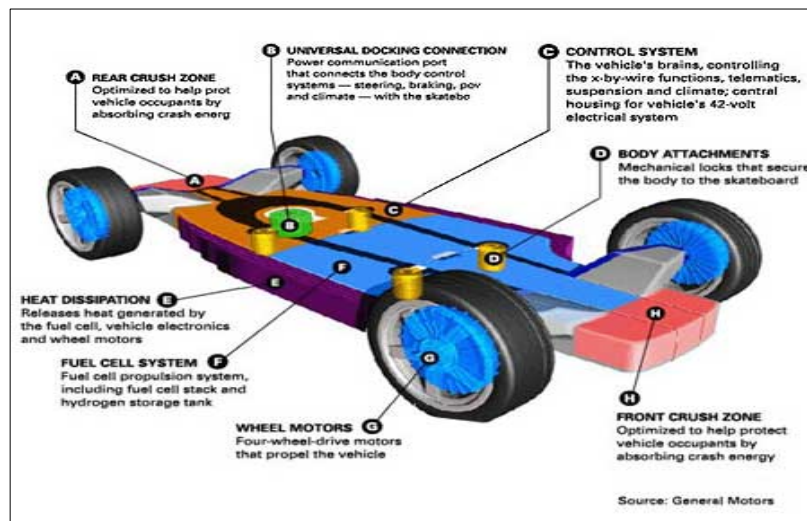
: 조향장치, 제동장치 등 자동차를 작동하는 기계적인 접촉을 없애고, 전기적인 결합만으로 구성된 이른바 「X-by-wire」를 전면적으로 채용한 것이고, 「Hy-Wire」라는 명칭도 연료의 「Hydrogen」과 「X-by-wire」에서의 합성어라는 점에서 단순한 연료전지 자동차는 아니지만, 실제 바닥 아래에 연료탱크를 수납하기 위해 항속거리가 110 km 정도밖에 나오지 않음



<그림 16> GM의 Hy-wire 컨셉트 카



<그림 17> GM의 Hy-wire 세단형 모델



<그림 18> GM의 Hy-wire 구성도

- Hy-Wire의 컨셉을 계승하면서도 보다 실용성을 향상시킨 것이 2005년 1월의 디트로이트 모터쇼에 GM사가 출전한 「Sequel」이며, 700기압이라는 고압수소 연료탱크를 채용하고 있으며, Hy-Wire와 같이 플로어 아래에 수용하여 수소를 8 kg 저장하고, 480 km라는 긴 항속 거리를 실현했고, 단, 중앙에 다소 두꺼운 탱크를 배치하여 중앙은 다소 올라와있음
- 연료전지스택 그 자체도 기존보다 개량하였으며, Hy-Wire의 연료전지스택은 독일 Opel사의 컴팩트 미니밴 「Zatira」를 베이스로 한 연료전지차 「Hydrogen3」 용을 사용하였는데, 이번에 Sequel에 탑재된 것은 이것을 개량한 것으로 출력이 73 kW로 25% 향상하였으며, 구조의 간소화하여 효율을 향상시켰고, 구동시스템에 4륜 구동을 채용한 것도 Sequel의 특징임

: 전륜을 출력 60kW의 모터로 구동하고, 후륜도 허브에 내장한 출력 25kW의 인휠모터로 구동하며, Hy-Wire에서는 X-by-wire의 기술을 활용하여 스티어링의 위치를 좌우로 변경하거나 액셀과 브레이크도 손으로 조작하게 되는 등, 자동차를 조작하기 위한 인터페이스를 근본적으로 변화 시켰고, Sequel의 스티어링, 브레이크 페달, 액셀 페달 등의 배치는 현재 자동차와 같으나, 스티어링, 브레이크 페달, 액셀 모두 X-by-wire 기술로 제어되고 있는 것은 Hy-Wire와 같으며, 이외에 Hy-Wire와의 명확한 차이는 2차전지를 탑재한 것으로 지금까지 GM사는 연료전지차에 2차 전지는 필요 없다고 여겨왔음

: 출력 65kW의 프랑스 Saqui사제의 Li 이온 2차전지를 탑재했고, 이 외

의 Sequel의 스택은 전장 4,994 × 전폭 1,966 × 전고 1,697 mm, 휠베이스 3,040 mm, 차체는 알루미늄 합금제로 차량총중량은 2,170 kg. GM사는 2005년 중에 연료전지 자동차의 한정적인 실용화를 지향하고, 2010년까지는 연료전지 자동차의 코스트와 내구성을 기존 엔진 자동차와 충분히 경쟁할 수 있도록 하는 것이 목표임



<그림 19> GM Sequel



<그림 20> GM Sequel 정면모습

○ Ford 자동차

- Ballard Power Systems사와도 제휴하고 있는 Ford는 “캘리포니아 연료전지 파트너십”에 처음부터 참가하고 있음

: Ford 몬데오로 휠 베이스를 연장하여 알루미늄 재료로 경량화를 모색한 바디에 Ballard Power Systems제 연료전지 마크 700을 탑재했고, 연료는 압축수소로 41리터의 탱크를 2개 탑재했음

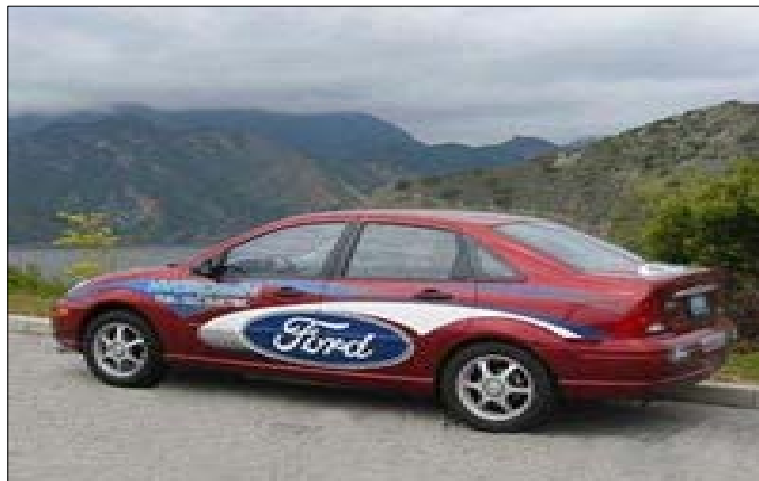
- 2000년 1월에 포커스 FCV를 발표하였으며, 메탄올 개질형으로 연료전지에는 Ballard Power Systems제의 마크 900을 실었으나, 그러나 11월에는 다시 압축수소로 한 포커스 세단 FCV를 발표하고, 또 2002년에 각 부분을 개량하여 하이브리드로 한 포커스 세단 FCV를 완성시켰음

: 포커스 FCV는 300 V 배터리 팩과 브레이크 바이 와이어 전자유압식

직렬 회생 브레이크시스템을 특징으로 하고 있고, 압축수소 탱크는 구형 24.8MPa에서 34.5MPa으로 압력이 높아졌음

: 연료전지 스택은 Ballard Power Systems제 마크902이고, 최고출력은 65kW, 최대 토크는 190Nm으로, 초고속도는 129km/h, 항속거리에 관해서도 구형보다 약 30% 연장된 최대 320km이며, 트럭션 인버터모듈과 전기모터 트랜스액슬을 조합한 일체형 파워트레인을 갖추고있음

: 포커스 FCV는 이미 정부나 민간기업에 제공되어 시험적인 사용이 이루어지고 있고, 이로서 향후 양산예정인 모델에 관한 피드백을 고객으로부터 수집하고 있으며, 시장 투입은 2003년부터 2004년에 할 예정임



<그림 21> FORD FOCUS FCV

○ BMW

- BMW는 매우 독특한 전략을 내세우고 있음

: 수소를 보통 엔진처럼 내연기관으로서 사용하는 것이고, 여기에서 거론되는 연료전지 자동차와는 다른 범주임

: 2000년에 수소엔진 사양인 “BMW750hL”를 15대 생산하고 이듬해에는 “BMW 클린에너지 월드투어 2001”이라는 이름으로 동경을 포함한 세계 5개 도시를 돌며 그 이념과 기술을 홍보함

: BMW는 향후에도 수소엔진을 주축으로 전개해갈 방침이며, 열효율 문제에서는 현재 37% 정도지만 10년 후에는 연료전지와 등등한 50% 수준이 가능할 것이라고 하지만, NOx 문제는 촉매로 대처할 수 밖에 없는 한계가 있어서 BMW도 내연기관으로서의 수소엔진을 “궁극”의 동력원으로서 생각하고 있는 것은 아님

: 양산용으로 2003년부터 테스트를 시작한 수소엔진 자동차 BMW 745h

는 최고속도 215km/h, 수소만의 항속거리 300km 이상이며, 수소엔진 자동차는 액체수소탱크를 트렁크에 탑재했고, 액체수소는 이 방식을 사용하고 있는 GM과도 제휴하여 액체수소 이용기술 개발을 추진하고 있고, 이것은 수소와 가솔린의 양쪽이 주행 중에 버튼 하나로 전환할 수 있는 Bi-Fuel 방식임

- BMW가 연료전지 개발하지 않는 것은 아니며, 보조 동력원으로 BMW도 연료전지 개발도 하고 있고, 납 배터리를 대체하는 소형 연료전지를 탑재하고 있으며, 이것은 엔진의 역할이 구동용만으로 되어 연비가 향상하는 것 외에 엔진 정지시에도 에어컨 작동이 가능하다는 장점이 있음

: 이런 점에서 통상의 내연엔진 자동차의 연비향상을 위해 BMW는 2006년까지 현행의 납 배터리에서 가솔린개질형 연료전지로 변경할 계획도 가지고 있고, 수소엔진이나 연료전지이나, 우선 BMW는 2020년에는 자사 판매 자동차의 약 25%를 수소엔진 자동차로 전환한다고 발표함



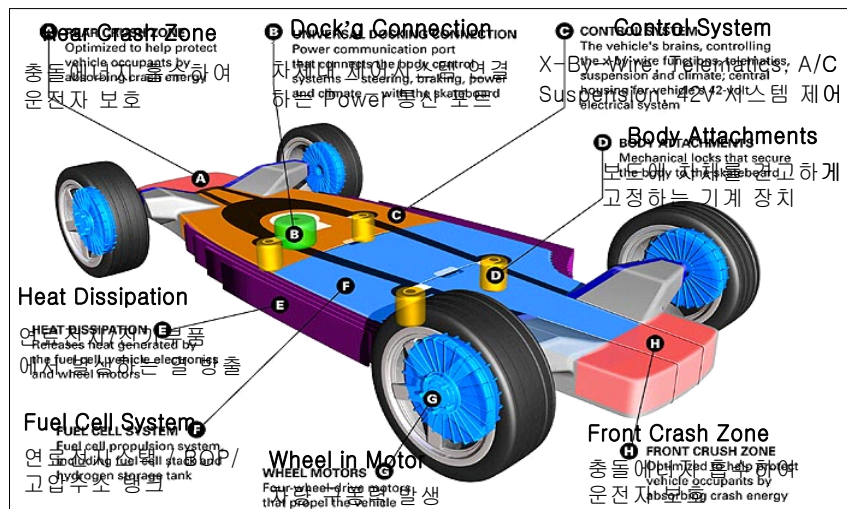
<그림 22> BMW 750hL

※ 연료전지 자동차용 신개념 구동시스템(In Wheel시스템)

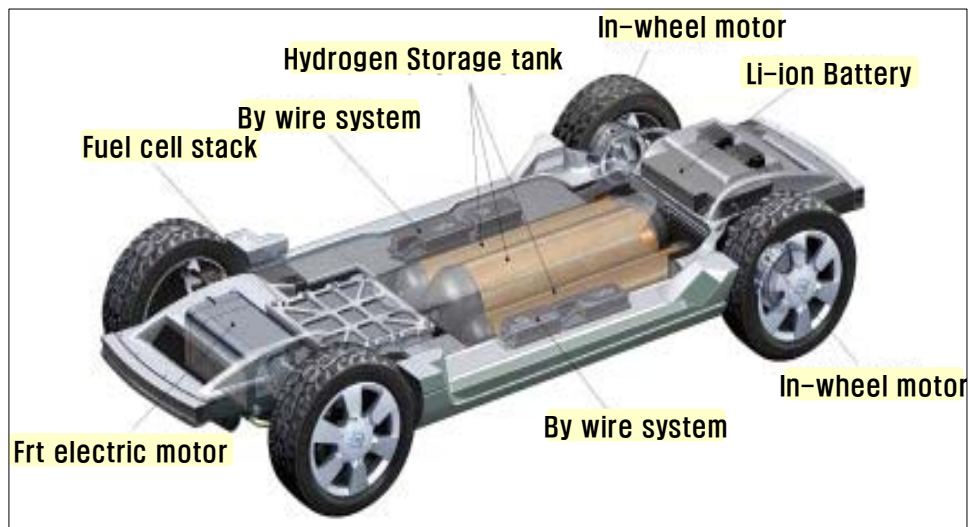
- In wheel 구동시스템은 고효율/고성능의 전기모터를 차량 휠 내에 장착하여 직접 구동 및 제동을 구현할 수 있는 시스템으로 전세계 유수의 자동차 제작사를 비롯한 연구기관을 중심으로 활발하게 진행되고 있고, 현재는 선행 환경차량개발의 수준으로 미국과 일본을 중심으로 진행되고 있으며, 시장성 측면에서 차량구동성능, 패키징성, 안정성, 상품성 등

을 평가하고 있음

- 미국의 GM(General Motors)에서는 2002년 1월 픽업 트럭인 Chevrolet S-10 모델에 하이브리드 형식(전륜 : 엔진, 후륜 : In wheel 구동시스템)으로 T-Car(초기 성능평가용) 수준으로 개발하였고, 개발업체의 발표(2003년 10월 GM보고서)로는 기동성능을 60% 이상 향상시켜 스포츠카의 성능을 나타내고 있다고 하는데, 한편 GM은 일찍이 차세대 친환경 차량의 시스템 및 부품의 효율성제고와 표준화를 목적으로 공용 플랫폼 전략을 수립 진행되어 왔는데, In wheel 시스템 차량의 장점 중의 하나인 환경차량의 패키징 성능 향상 측면으로 미루어 이와 같은 전략은 큰 호응을 받을 것으로 예상됨
- 아래 그림은 GM의 AUTONOMY에 대한 각 요소별 특징 및 장점에 대해 나타낸 것이며, 조합시 전체 차량성능 및 편의기능 향상을 예측할 수 있음
- 최근에는 패키징면에서 상당히 개선된 SEQUEL 모델을 선보였으며, 전륜에 In-Line Transaxle 모터, 후륜에 In-Wheel 시스템을 장착하였음

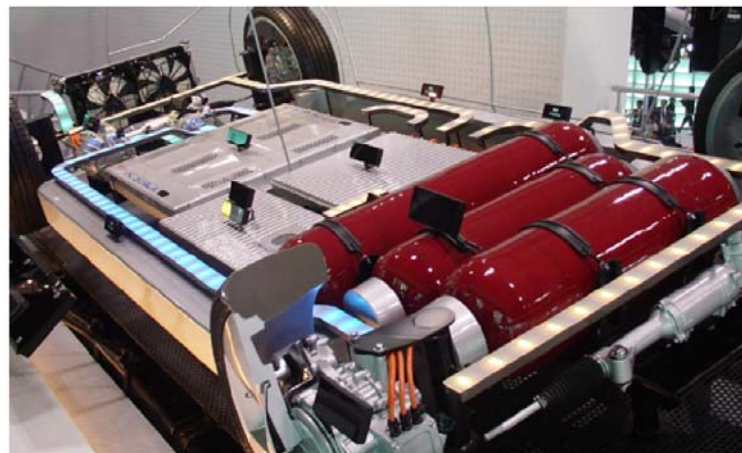


<그림 23> GM의 공용플랫폼 AUTONOMY



<그림 24> GM의 SEQUEL

- 일본에서는 도요타와 혼다의 연구개발이 활발한데, 우선 도요타에서는 2003년 1월 FINE-S, 10월 FINE-N을 개발하여 동경모터쇼에서 발표하였음
- 아래 그림에 나타난 FINE-N은 4WD In wheel 구동시스템을 장착한 하이브리드 연료전지 자동차임



<그림 25> 도요타의 FINE-N

- 혼다에서는 컨셉카 수준의 KIWAMI를 발표했는데, 대용량 울트라 커패시터를 사용한 하이브리드 연료전지 자동차임
- 미쓰비시 자동차에서는 In-Wheel 구동시스템을 순수 배터리 구동 EV 차량으로 적용했는데, 경승용 Colt EV는 후륜에 In-Wheel 구동시스템

을 장착하였으며, 리튬이온 전지를 탑재하여 일충전 150km임

3) 각국 정부의 실증사업 현황

○ 에너지 독립을 위한 절실한 요구로 미국은 수소/연료전지 프로젝트들을 정부 주도하에 강력하게 추진하고 있음

- 일본 정부는 연료전지 자동차의 관용운행 등으로 이미 시범운행을 시작하였고, 2020년까지 연료전지 자동차 500만대, 수소 충전소 4,000개 건립을 목표로 매진하고 있음

- 중국의 과학기술정책은 선택과 집중을 통한 신기술 선점과 이를 통한 국가 경쟁력 제고이며, 1986년부터 추진된 863계획이 이에 속하며, 연료전지 자동차도 그 중요한 부분을 차지하고 있음

- 연료전지 자동차의 가격이 비싸고 수소공급 인프라가 없고, 빙점하에서는 운전을 할 수 없는 등의 이유가 보급을 방해하는 주요 요인임

: 연료전지 자동차의 가격이 높은 것은 수요가 적고 양산으로 이행할 수 없는 영향도 있지만, 연료공급 인프라가 정비되지 않으면 수요는 희망할 수 없고, 연료공급 인프라 구축이 보급을 위한 우선 과제임

- 연료전지 자동차의 연료에 관해서는 수소로 이행하기까지의 경과기간의 기술로 자동차에서 개질(On-Board Fuel Processor)도 제안되었으나, 미국 에너지성(DOE)는 지금까지의 개발달성 상황을 평가한 결과, 자동차에서 개질 연구를 지속해도 경제적, 기술적인 최종목표 달성은 곤란하다고 판단하여 이 기술개발에 대한 중단을 결정했음

- 이 결정에 앞서 2004년 4월, DOE는 연료전지 자동차의 2015년의 본격적 실용화가 가능한지를 검증하기 위해 수소공급 스테이션 건설을 포함한 5개의 실증 프로그램을 개시했음

: 국내의 현대-기아자동차, DaimleChrysler(DCX), Ford, GM, 도요다, 닛산, 혼다, BMW (수소 내연엔진 자동차로 참가)가 자동차메이커로 참가하여 100대를 크게 넘는 연료전지 자동차가 사용됨

: 이 외에 캘리포니아주도 2004년 4월, A.Schwarzenegger지사의 선거공약의 하나였던 수소공급 스테이션 정비에도 착수했고, 캘리포니아 전 주민을 커버하는 스테이션망 정비 목표시기는 2010년임

- 수소공급 스테이션이 정비되면 연료전지자동차 보급 환경이 크게 개선될

것 이고, 연료전지의 핵심 기술의 하나인 전해질막 개발에서도 성능과 비용을 크게 변화시킬 가능성이 있는 개발이 발표되고 있음

- 빙점하에서는 운전이 어렵다는 문제도 MEA(막/전극접합체)의 기술 진보로 해결되고 있으며, DOE 프로그램은 미국 북동부 냉한지에 서의 실증실험도 착수했음
- 앞으로 연료전지자동차의 거대 시장이 될 가능성이 있는 중국에서도 VW와 GM이 연료전지자동차의 공동개발을 잇달아 개시하고 있음

<표 17> 주요 국가 수소연료전지 자동차 실증 및 시범운영 현황

국가	사 업 명	주 요 내 용
미국	① CaFCP	- 자동차사, 에너지사, 부품업체 등이 참여하여 캘리포니아를 중심으로 실증추진 '99~'03 : 연료전지차 55대 및 충전소 9기 '04~'07 : 연료전지차 120대 및 충전소 16기
	② National Hydrogen Light Duty Program	- DOE주관으로 자동차사와 에너지업체가 4개의 팀을 이뤄 FCV와 수소인프라 실증 '04~'09 : 연료전지차 128대 및 충전소 28기 - 총사업비 : US \$364M
	③ National Fuel Cell Bus Program	- DOT주관으로 비영리기관, 운송회사와 함께 FC Bus 상업화를 위한 실증 '03~'15간 3단계로 추진예정 - 사업비 : US \$28M('03), '03년이후 매년 \$50M
일본	① JHFC 프로젝트	- 도쿄 및 요코하마 지역 총 12개소 운영 - 나프타, LPG, 부생가스 등 다양한 수소충전소 - 차량운행규모 : 60대 - 사업기간 : '02~'05, ('06년 2단계 사업 착수)
중국	① FC BUS 실용화 시범사업	- 운행규모 : 총 12대 (북경, 상하이) - 사업규모 : US\$ 32M - 사업기간 : 5년 ('04~'09)
EU	① CUTE	- EC가 주관하는 연료전지버스 실증사업 '03~'05년간 9개 도시에서 각 3대씩 운행 - 총사업비 : 60M€
	② Hydrogen for Transport Program	- CUTE프로그램의 2단계 사업으로 '06~'08년간 200대 실증운행 예정 - 버스(Hyfleet), 승용차(Zero regio), 소형운송차량(HyCHAIN) 등으로 세분화 - 총사업비 : 105M€
	③ ECTOS	- 아이슬란드 레이카빅에 수소충전소와 3대의 연료전지버스를 실증 '01~'05 (5기의 수소충전소 추가건설 추진중)
	④ CEP	- 독일 정부 지원의 수소에너지 상용화 민관 협력 프로그램 '04~'08년, 총사업비 33M€

○ 캘리포니아 연료전지 파트너십(CaFCP)

- 미국 캘리포니아주의 주도인 새크라멘토에 있는 캘리포니아 연료전지 파

- 트너십(CaFCP)은 수소 연료전지 자동차(FCV) 상용화의 전초 기지임
- : 제너럴모터스(GM) 도요타자동차를 비롯한 미국 일본 각각의 자동차 '빅3'와 현대자동차 폭스바겐 등 총 8개 주요 글로벌 자동차회사들이 이곳에 모여 FCV 상용화 시기를 앞당기기 위해 공동노력 하고 있음
- 자동차회사 외에 에너지 기업 셰브론과 BP,로열더치셸의 수소 에너지 회사 셸 하이드로젠 등도 CaFCP의 회원이며, 발라드 UTC파워 등 연료전지 업체와 미 에너지부, 교통부 등 정부도 참가하고 있음
 - CaFCP는 자동차 회사들이 만든 FCV를 캘리포니아 지역에서 시험 운행해 이용자들의 반응을 체크하고 기술적 결함이나 보완 사항을 취합함
- : 현재 운행 중인 FCV는 자동차 100대와 버스 7대. CaFCP의 회원사인 8개 자동차 회사들은 매년 자사 신모델에 FCV 기술을 적용, 시험운행 차량을 개발함
- : 현대 자동차의 투싼과 기아 자동차의 스포티지도 각각 4대씩 FCV로 만들어져 샌프란시스코의 버스 수리 차량으로 운행되고 있음
- : CaFCP의 크리스 화이트 이사는 "연말까지 시험 운행 FCV를 300대로 늘릴 계획"이라고 발표
- FCV에 연료인 수소를 채워 넣는 충전소도 곳곳에 건설되어 상용화에 대비하고 있음
- : 수소 충전소는 23곳이 운영되고 있고 연말까지 14개를 추가로 만들 예정이며, 오는 2010년까지 100개가 목표임
- CaFCP가 출범하던 1999년엔 이 같은 성공을 예상치 못했고, 당시엔 실험실의 과학 프로젝트 정도로 생각했지만 이후 3~4년간 관련 기술이 비약적으로 발전하여 FCV의 상업화를 본격적으로 추진하게 됐음



<그림 26> Hydrogen Station

○ National Hydrogen Light Duty Program

- 2003년 1월, 부시대통령은 연두교서에서 미국의 수입석유 의존체질에서의 탈출을 지향한 “The President’s Hydrogen Fuel Initiative”를 발표했고, 이에 DOE는 “Hydrogen Fleet and infrastructure Demonstration Program”을 책정, 그 일환으로 연료전지 자동차의 기술실증 프로젝트를 세웠음

: 프로젝트는 2015년에 연료전지 자동차 상용화의 목표를 달성할 수 있을지를 5가지 프로젝트의 진전 상황으로 평가하고자 하는 것으로 사업기간은 5년임

: DOE가 제시한 2015년이라는, 연료전지 자동차의 본격적인 보급시기 목표에 대서 이번 DOE 프로젝트에 참가한 주요 자동차메이커는 적어도 부정적인 견해는 보이지 않았음

- DCX와 GM은 2010년의 상업화 혹은 양산체제 확립 전망을 제시하고, 현대자동차도 2010년까지 한국내에서 10,000대의 연료전지 자동차 판매를 검토하고 있다고 함

: 연료전지 자동차의 보급시기에 대한 주요 자동차메이커 관계자의 공식 발표 및 그 발언을 정리한 것인데, 같은 기업이라도 발언자, 발언장소에 따라 서로 다른 경우가 있으며, 각 사의 통일 견해라고는 할 수 없음

<표 18> 주요 자동차회사 수소연료전지 자동차 상용화 계획

DCX	2004~2007년에 일상용도로의 적합성을 검증. 서서히 생산을 확대하여 2010년에 상업화.
Ford	DOE의 타임테이블과 같아서 2012~2015년경.
GM	2010년까지 양산체제를 확립.
Honda	연료전지차량과 연료공급설비의 실증사례를 확대
현대	2004년에 기아자동차와 공동으로 미국에서 32대의 연료전지차의 실증실험을 실시. 2010년까지 한국에서 10,000대 판매를 검토.
도요다	2010년 이전의 상용화는 없다. DOE의 타임테이블인 2015년 상 용화를 지지.

※ 자료 : Fuel Cell Vehicle World Survery 2003

- DOE 프로젝트는 수소를 연료로 하는 연료전지 자동차, 연료공급 인프라, 연료전지자동차와 연료공급 인프라의 인터페이스를 완전한 시스템으로 하기 위한 실증실험을 하며, 포괄적인 안전계획, 규준, 표준 (codes and standards) 제정의 지원활동, 종합적인 교육, 훈련활동도 프로젝트 활동에 포함하고 있음

: 2004년 4월, DOE는 Air Products and Chemicals, DCX, Ford, GM, Texaco Energy Systems의 5사를 리더로 한 5가지 프로젝트팀 발표

: 프로젝트 리더가 되는 기업에게는 팀 멤버와 협력하여 현실의 사용환경에서의 문제점과 그 포괄적인 해결책을 명시하도록 하고 있음

- 캘리포니아주에는 최대 24개의 수소 스테이션을 건설, Air Products and Chemicals를 리더로 한 프로젝트는 캘리포니아주에 5년간에 24기의 수소스테이션 건설을 계획 중임

: 수소는 천연가스 개질 및 재생가능 에너지원에서 제조할 계획이며, DOE에 예산 요청액은 \$35 million 임

: 계획에서는 몇 스테이션에서는 고압가스와 액체상태의 수소공급이 가능

: 테스트 차량은 도요다, 혼다, 닛산의 3사에서 합계 65대의 연료전지자동차, BMW에서 15대의 수소엔진자동차가 참가하며, 테스트 차량은 전문가, 일반인, 정책입안자, 플리트차량 운영자 등, 다양한 사람들이 운전

<표 19> Air Products and Chemicals을 Leader로 한 DOE 프로그램의 참가 멤버

Leader	Partner	Team Member
Air Products and Chemicals, Inc.	- Toyota Motor Sales - Nissan North America - American Honda Motors - ConcoPhilips - BMW	- UTC Fuel Cells - Proton Energy Systems - University of California, Davis - Southern California Edison - California Energy Commission - California Air Quality Management District - Sacramento Metropolitan Air Quality Management District

- DaimlerChrysler(DCX)를 리더, British Petroleum(BP)를 파트너로 한 프로젝트는 DTE Energy의 협력을 얻어 실증실험을 실시 중임
- : DTE Energy는 Detroit에 본점을 둔 종합 에너지기업으로, 전력공급의 Detroit Edison, 천연가스공급의 MichCon을 산하로 갖고 있음
- : DTE Energy는 바이오매스, 태양광 발전, 야간전력에서 수소를 만들고, 이를 사용하여 일정구역의 에너지를 얻는 Hydrogen Technology Park 계획을 추진했음
- : 이 계획에 DCX를 리더로 한 DOE 프로젝트가 합류, '04년 10월 19일, 디트로이트 근교의 Southfield시에서 DOE 프로젝트로서는 최초의 스테이션을 개설하였음
- : 이 수소 스테이션의 수소제조에는 Stuart Energy Systems 의 물 전기분해장치가 사용되어 BP의 종합가스장치에 의해 DCX의 연료전지자동차에 수소가스를 공급됨

<표 20> DaimlerChrysler를 Leader로 한 DOE 프로그램의 참가멤버

Leader	Partner	Team Member
Daimler-Chrysler Corp.	- BP America	- DTE Energy , SAIC, SRI International - Ballard, NextEnergy - California Fuel Cell Partnership - National Hydrogen Association :

- Ford를 리더로 한 프로젝트는 Orlando, Sacramento, Detroit에서 각 10대

의 Ford Focus 베이스 연료전지자동차를 사용한 실증실험을 실시하고 있음

: 수소공급 스테이션은 BP가 담당하고, 천연가스 개질에 의한 수소제조가 가까운 미래에 적용화 가능한 지를 검토하고, DOE가 추진하기로 되어있는 재생가능 에너지원으로부터의 수소제조가 목표 코스트로 가능한지를 평가할 계획임

: Ford는 이 실증실험을 위한 연료전지자동차 30대를 생산하기 위해 Detroit의 창고내에 소유하던 전기자동차생산을 위한 설비를 개조, 연료전지자동차의 조립을 개시했음

<표 21> Ford를 Leader로 한 DOE 프로그램에의 참가멤버

Leader	Partner	Team Member
Ford Motor Company	BP America	- Ballard, NextEnergy - Environmental Protection Agency - H2Systems - Sacramento Municipal Utility District - California Energy Commission - California Air Resources Board - Progress Energy

- GM을 리더로 하는 프로젝트는 Shell과 공동으로 미국 여러 곳에서 실증사업을 실시함

: 상세 계획은 실증사업을 받아들이는 지방행정조직과의 합의가 성립된 후에 발표됨

: 이 DOE 프로젝트와는 별도로 GM와 Shell은 Washington, D.C.에서 GM의 연료전지 자동차 6대를 사용한 실증시험을 하고 있음

: '04년 11월 10일, Shell의 가솔린 스테이션에 수소 스테이션이 병설되어 가동을 개시했으며, 이 수소 스테이션의 수소저장과 가스장치에는 Air Product 제 Series 200TM이 사용되었으며, 1일당 공급능력은 20 kg 임

<표 22> GM을 Leader로 한 DOE 프로그램 참가멤버

Leader	Partner	Team Member
General Motors Corp.	Shell Oil Products	- Air Products and Chemicals, Inc. - GE Global Research, NextEnergy - Viewpoint Systems Inc - Start@comm Inc - Department of the Army - Port of Los Angeles - Maryland Energy Administration - New York State Energy Research and Development Authority

- Texaco Energy System이 리더가 된 프로젝트는 캘리포니아주 Chino의 현대 America Technical Center와 U.C. Davis의 2곳과 냉한지인 미국 북동부를 포함하여 최대 6곳에 수소 스테이션을 설치할 계획이며, 이 테스트에서는 현대의 Tucson FCEV와 기아의 Sportage FCEV 합계 32대 운행 예정임

<표 23> Texaco Energy Systems를 Leader로 하는 DOE 프로그램 참가 멤버

Leader	Partner	Team Member
Texaco Energy Systems	현대 자동차	- UTC Fuel Cells: - University of California Davis - AC Transit - Southern California Edison: - South Coast Air Quality Management District - California Energy Commission - California Air Resources Board - New York State Electric and Gas/Rochester Gas and Electric

- 아놀드 슈왈츠네거 캘리포니아 주지사의 2003년 10월의 지사 선거공약에는 연료전지 자동차의 보급도 들어있었음
- “캘리포니아 하이드로젠 하이웨이 2010”은 모든 캘리포니아 주민 이 주요 하이웨이에 설치된 수소 스테이션에 액세스 할 수 있는 것을 2010

년까지 실현한다는 것이며, 이를 위해서는 150~200의 수소스테이션을 주요 하이웨이이 약 20마일마다 설치해야 함

- 이 수소 스테이션 건설에 필요한 비용은 약 9,000만불로 예측되며, 2004년 4월 슈왈츠넛거 지사는 이 비전을 실행에 옮기기 위한 “Executive Order”에 서명했으며, 이 중에는 주 정부가 사용하는 플리트(Fleet)차량 갱신시 가능한 수소를 연료로 한 자동차를 구입하는 것도 예정되어 있음
- 2004년 4월의 Executive Order로 남 캘리포니아의 대기오염을 관할하는 California South Coast Air Quality Management District(SCAQMD)는 Burbank, Riverside, Santa Ana의 3개 시에 2005년에 수소스테이션을 설치하기로 했으며, 2004년 8월 Air Products가 발주처로 선정되었음
- Burbank 와 Riverside의 수소 스테이션의 수소는 Proton Eergy Systems의 고체고분자막을 사용한 물의 전기분해장치 HOGEN200을 사용, 저장 및 가스는 Air Products의 Series 200TM을 사용할 계획이며, Santa Ana의 수소스테이션은 근처의 Wilmington시의 Air Products공장에서 만든 수소를 Air Products의 이동식 수소공급장치(mobile hydrogen fueler)HF-150으로 수송할 계획임
- Los Angeles국제공항은 사용차량을 석유대체 연료자동차로 변경하는 프로그램을 추진하고 있으며 이미 50% 이상이 석유대체 연료자동차가 되었음
- 수소가스를 사용하는 연료전지 자동차도 플리트차량으로 사용할 계획으로 2004년 4월 수소 스테이션 건설을 Praxair에 발주했으며, 이 수소 스테이션 건설비용은 Praxair가 \$550,000, SCAQMD \$351,000, DOE \$499,048, BP \$180,000를 분담한다. 수소 스테이션은 BP로 수소의 소매가 가능하도록 설계되어 (Retail-Designed Hydrogen Station), 2004년 10월, 아놀드주지사에 의해 개소식이 이루어졌으며, Los Angeles 국제공항은 이 수소스테이션을 사용하여 DCX의 연료전지자동차를 운용할 계획임

※ 현대자동차의 미국 에너지성(DOE)의 수소연료전지 자동차 시범사업

- 사업 목적 : 실제 사용조건에서 수소 인프라 및 연료전지 자동차 통합 검증
- 사업기간 : 2004. 9 ~ 2009. 9 (5년)
- 사업예산 : 3억 5,870만 \$
- 지원내용 : 연료전지 구입 비용 및 수소충전소 건설비 최대 50% 지원
- 사업 목표

구 분	2009년	2015년
스택 내구성	2,000 시간	5,000 시간
주행거리	250 Mile	300 Mile
수소 가격	\$3.0 / kg H ₂	\$2.0~3.0 / kg H ₂

- 현대 & 기아 자동차 참여 현황
 - 에너지 회사 : 세브론 텍사코
 - 연료전지 회사 : UTC Power
 - 운영규모 : 총 32대(투싼 16대, 스포티지 16대), 충전소 6
- ⇒ 현황 : 16대 운행, 충전소 4개소 운영

라. 국내 기술개발 동향 및 수준

1) 국내 기술 및 산업 동향

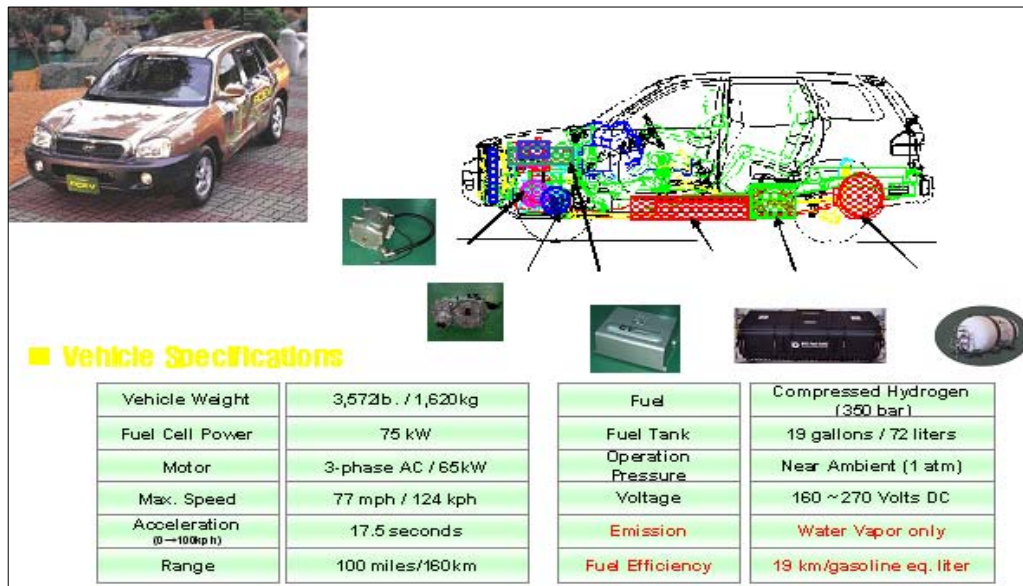
국내에서 1998년 G7 사업 및 차세대자동차 개발사업을 바탕으로 연료전지자동차가 개발되기 시작했으며, 국내의 연료전지 시스템 개발 현황은 다음과 같음

- 1996년부터 한국에너지기술연구원이 주관하여 정치형 전원용 5kW 고분자 연료전지 시스템을 개발하였음
- 2000년에 한국과학기술연구원에서 5kW급 고분자 연료전지 스택을 개발하고, Golf Cart에 탑재하여 시운전하였음
- 2000년 11월 현대자동차는 자체 프로그램으로 UTCFC의 연료전지를 이용한 75kW급 연료전지자동차를 개발하여 California Fuel Cell Partnership 참여를 통해 각종 주행시험과 성능비교를 통한 기술 표준화에 참여하고 있음
- 2001년 현대자동차에서 25kW급 연료전지 스택을 개발하여, 2002년 싼타페 메탄올 개질형 연료전지 자동차에 탑재하여 시험 운전

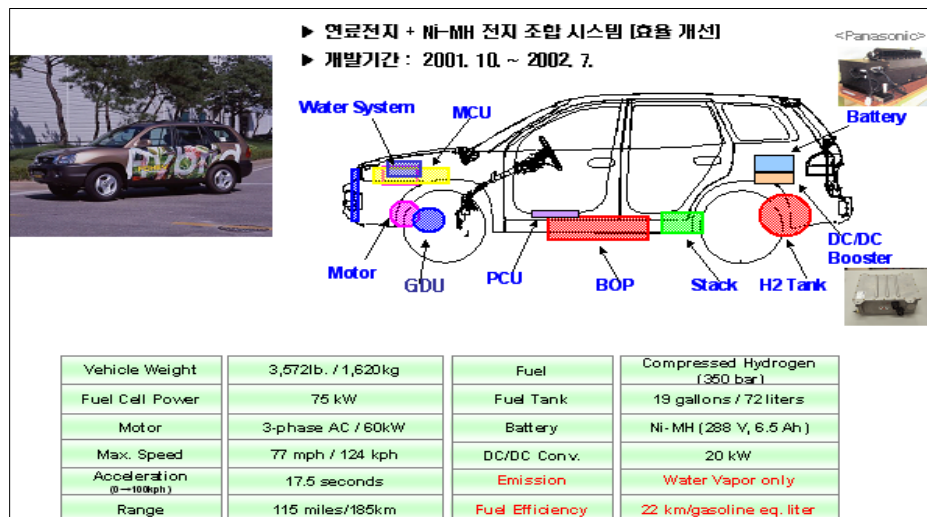
- 2004년 12월에 현대자동차가 쉐타페에 이어 투산에 적용한 2세대 연료전지차를 개발 발표하였다. 1호 연료전지 자동차인 쉐타페에 비해 출력 · 속도 · 주행거리 · 차량안전성 등 모든 비교분야에서 대폭적인 개선이 이뤄진 것으로 발표되었다. 연료전지자동차의 2015년 본격 실용화의 대규모 실증실험을 개시한 미국 DOE, 캘리포니아주에도 참여하였다. 이 실증사업은 2010년까지가 목표이며, 또한 수소공급 스테이션 사업도 병행하고 있음
- 2005년 3월 현대자동차에 산업자원부 연료전지자동차 구도용 80kW급 PEMFC 발전모듈 개발 과제의 성과물로 80kW급 발전모듈 Meca Proto type 개발하였음
- 현대자동차는 UTC Fuel Cell과 제휴하여 연료전지자동차를 개발하고 2000년에 쉐타페 FCEV를 발표했으며, 2003년 6월에는 빙점하에서도 시동이 가능한 연료전지자동차를 2004년에 개발하였음
- 현대자동차는 2004년 2월의 Geneva 자동차쇼에서 쉐타페 FCEV의 후속 연료전지 자동차로 Tucson FCEV를 발표했음
- 현대자동차의 자회사인 기아자동차도 2004년 9월 파리자동차쇼에서 Sportage FCEV를 발표했고, 이들 새로운 연료전지 자동차는 빙점하 10℃의 저온에서도 운전가능하다고 발표했음

2000	Santa Fe Fuel Cell Vehicle - System : Fuel Cell Only - Fuel : Compressed Hydrogen (350 bar)	
2002	Santa Fe Fuel Cell Hybrid Vehicle - System : Fuel Cell + Ni-MH Battery - Fuel : Compressed Hydrogen (350 bar)	
2004	Tucson Fuel Cell Hybrid Vehicle - System : Fuel Cell + Li-Polymer Battery - Fuel : Compressed Hydrogen (350 bar)	
2005	Sportage Fuel Cell Hybrid Vehicle - System : Fuel Cell + Li-Polymer Battery - Fuel : Compressed Hydrogen (350 bar)	
2006	HYUNDAI Fuel Cell Bus - System : Fuel Cell + 슈퍼커패시터 - Fuel : Compressed Hydrogen (350 bar)	

<그림 27> 현대 및 기아 수소연료전지 자동차 개발이력



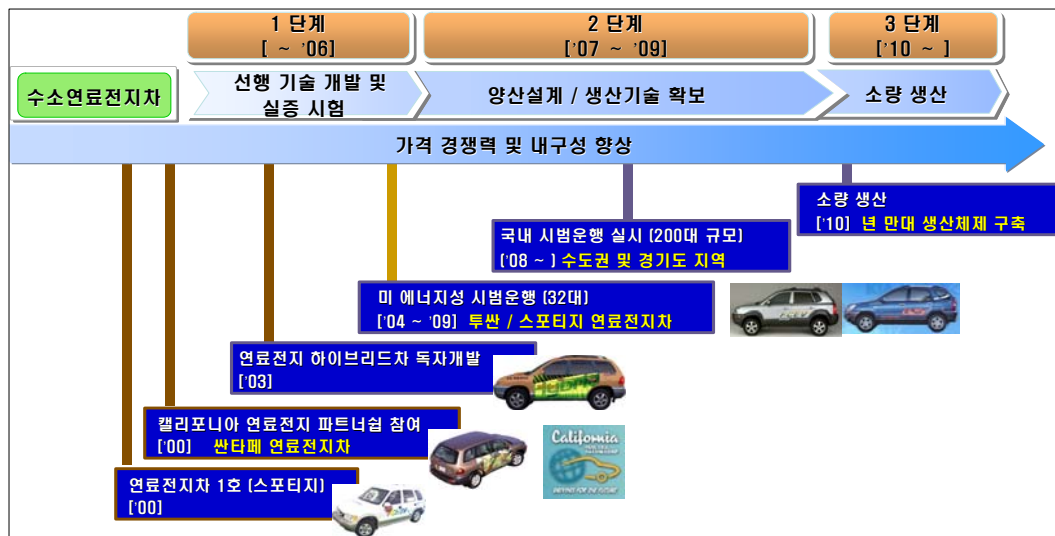
<그림 28> 2000년 싼타페 연료전지 자동차



<그림 29> 싼타페 연료전지 자동차



<그림 30> 2004년 투싼 연료전지 자동차



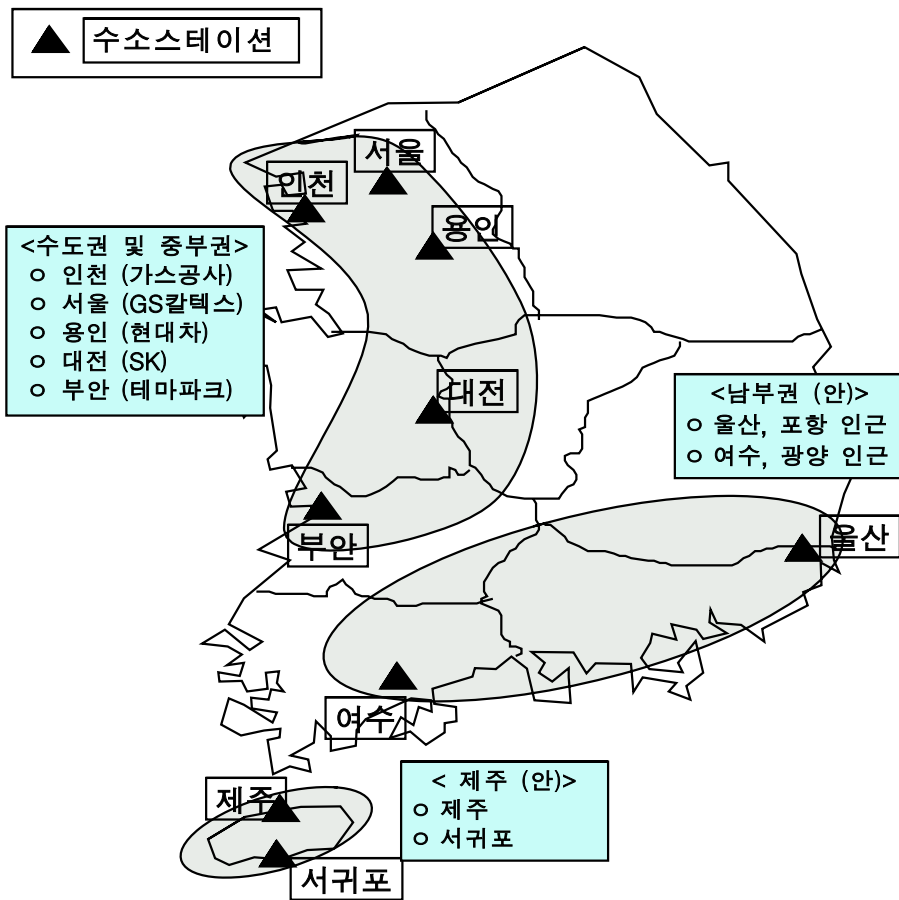
<그림 31> 국내의 연료전지자동차 개발 계획

- 산업자원부는 연료전지자동차의 조기 상용화 및 경쟁력확보지원을 위한 “수송용 연료전지 모니터링 사업”에 ‘06~’08년간 국비 240억원(총사업비 480억원, 민자 240억원)을 투입할 계획으로 ‘06년 10월 착수하였음
- 연료전지자동차는 석유에 의존하는 내연기관자동차를 대체하는 미래대안으로 부각되고 있으며, 이에 따라 미국, 일본, EU 등 세계 각국은 연료전지자동차의 개발과 상용화를 위해 투자를 강화하고 있음
- 우리나라의 경우 현대자동차 중심으로 연료전지 승용자동차 및 버스개발을, SK, GS칼텍스, 가스공사 중심으로 수소스테이션 개발을 추진 중에 있으나, 본격적인 상용화를 대비하기 위해서는 기술개발과 실제 주행환경에서의 성능 및 내구성 평가를 동시에 진행시키고, 수소 스테이션 등 관련 인프라 구축할 필요성이 있음
- “수송용 연료전지 모니터링 사업”은 ‘08년까지 국산 연료전지를 탑재한 연료전지차량(34대)을 전략적 위치에 투입·운행하는 실제 도로 모니터링을 통해 연료전지 자동차의 조기 상용화 및 경쟁력 확보를 지원하게 되며, 이와 병행하여 기술표준체제 마련, 전문부품업체 육성, 수소충전소·법규정비 등 인프라 구축기반을 조성하게 됨
- 수소자동차 운행을 위해 필수적인 수소충전소는 1차년도에는 수도권을 중심으로 충전소를 구축하고, 2차년도에는 제주 풍력단지와 연계한 물 전기분해 충전소를, 3차년도에는 남부지역을 중심으로 Truck-in방식의 수소충전소를 단계적으로 구축해 나갈 계획임

<표 24> 연차별 사업 계획

구 분		2006	2007	2008	계
자동차 (대)	승 용	4	8	18	30
	버 스	1	1	2	4
	국산화목표 (내구성)	50% (1,000시간)	60% (1,500시간)	70% (2,000시간)	
충전소 (기)		2	4	2	8

- 수송용 연료전지 모니터링 사업은 국내 자동차업체, 수소스테이션을 설치·운영할 수 있는 에너지업체, 연구소·대학, 부품업체, 지자체 등을 중심으로 추진하게 되며, 관련부처 및 수소연료전지사업단 등 산·학·연·관 전문가로 구성된 “연료전지자동차 실용화 위원회”를 구성하여 자료 분석·보고 및 자문을 담당하게 됨
- 2006년에는 80kW급 연료전지승용차의 기준가격을 10억원으로 산정하고 4대를, 200kW급 연료전지버스의 기준가격을 30억원으로 산정하고 1대를 시범보급 및 모니터링할 계획임
- 연료전지의 핵심부품인 스택 등은 국산제품을 사용하게 되며 국산화 비율은 50% 수준임
- '08년에는 급변 추진되는 모니터링 사업을 통해 80kW급 연료전지승용차의 기준가격은 6.5억원 수준, 200kW급 연료전지버스는 15억원으로 인하되고 국산화비율은 70%선으로 제고될 전망임
- 내구성확보와 초기시장 형성으로 '15년경에는 80kW급 연료전지승용차의 가격이 5천만원 수준으로 떨어져 보편적인 상업보급이 가능할 것으로 예측되며, 모니터링 사업은 신재생에너지 기술개발사업의 일환으로 추진되고 있음



<그림 32> 수소 스테이션 단계별 구축계획(안)

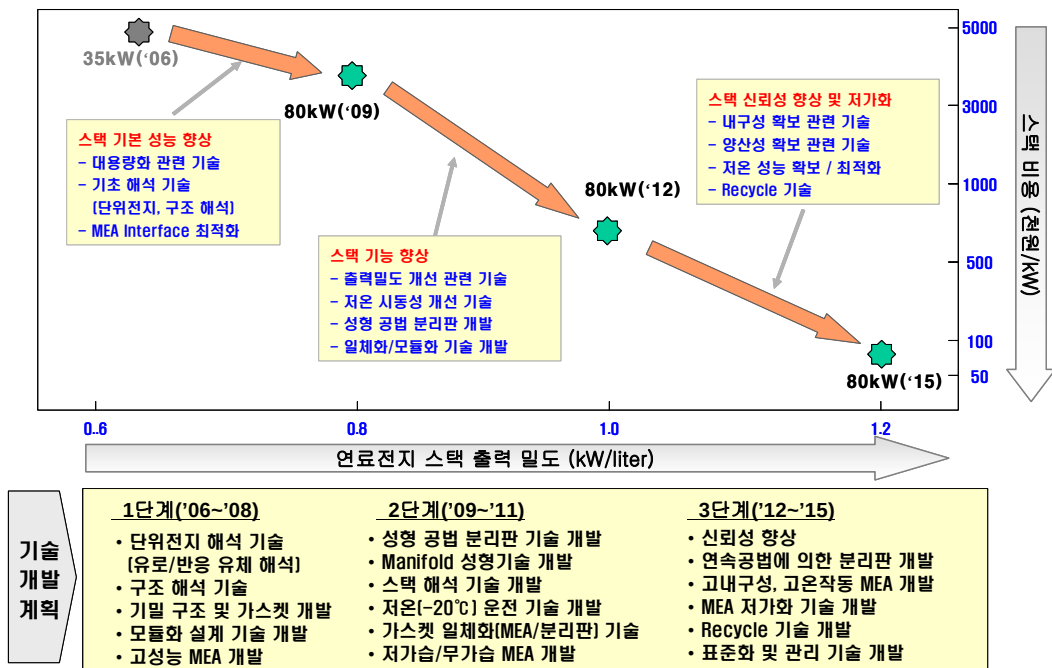
- 1차년도('06) : 수도권 · 중부권을 중심으로 LNG 등 화석연료 개질방식 수소충전소 설치·운영
- 2차년도('07) : 제주 풍력단지와 연계한 물전기분해 수소충전소 설치·운영
- ※ 제주도는 풍력 등 신재생에너지를 이용하여 일정한 수소생산이 가능하며 지리적 제한성과 적정한 길이의 도로망은 연료전지자동차 실증에 유리
- 3차년도('08) : 부생가스 활용한 대규모 수소생산이 가능한 남부지역을 중심으로 Truck-in 방식 스테이션 구축

2) 국내의 연료전지자동차 관련 연구동향

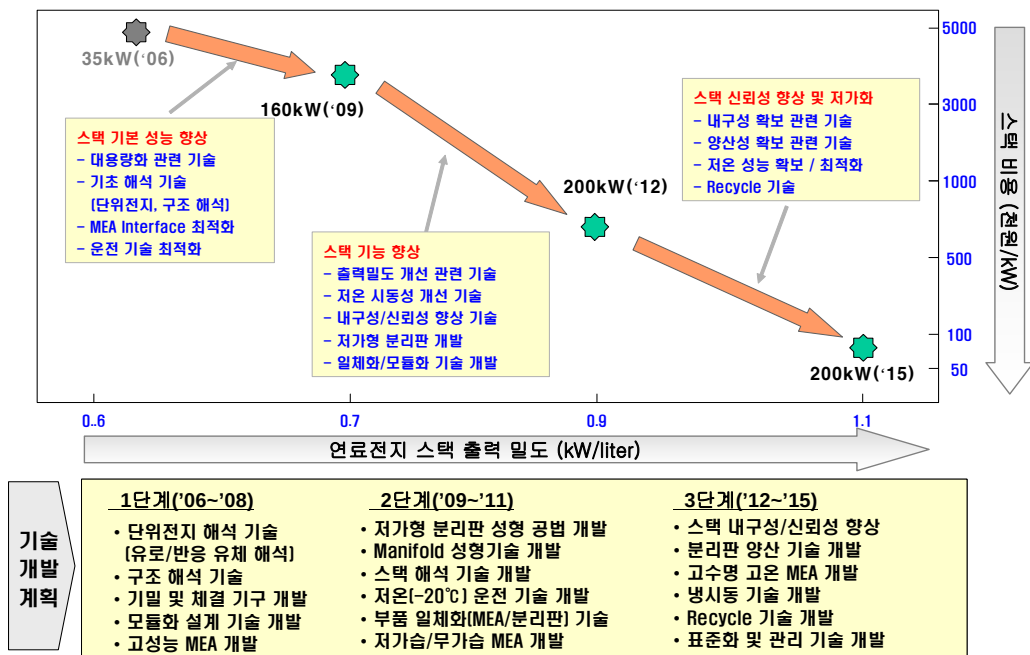
- 수소연료전지 자동차 개발 기술지원 대상

- 자동차 구동용 80kW급 PEMFC 발전모듈
- 200kW급 버스용 연료전지 시스템
- 고분자 연료전지 스택 재료 제조 및 생산기술
- 수송용 연료전지 스택/시스템의 냉시동 및 동결대응기술
- 80kW급 승용차용 고분자 연료전지 운전장치
- 연료전지 시스템 모듈화 기술
- 연료전지 차량용 초고압 초경량 수소탱크 모듈화 기술
- 연료전지 차량용 신수소 저장 시스템 설계 및 평가 기술
- 연료전지차 수소 공급 및 재순환 시스템 설계 및 평가기술
- 연료전지차 수소 공급 및 재순환 시스템 설계 및 평가기술
- 연료전지 시스템 제어 부품 기술
- 연료전지 버스용 고전압 구동시스템(200kW급)
- 연료전지차용 고출력 고효율 구동 시스템 (80kW급)
- 파워넷 설계 및 전기동력 핵심 부품
- 연료전지차용 신개념 구동시스템(In Wheel시스템)
- 승용 연료전지 차량 설계 및 제어 기술
- 연료전지버스 설계 및 요소 부품
- 연료전지차용 공조시스템
- 연료전지시스템 및 차량 평가 기술

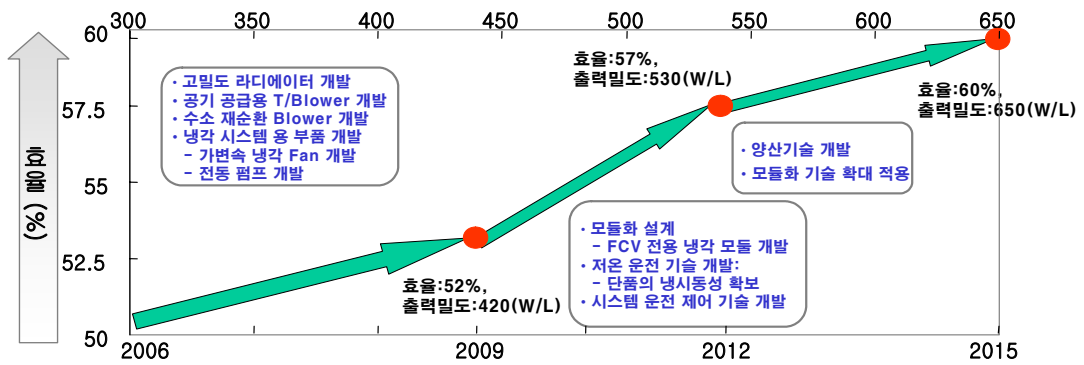
□ 연료전지 승용자동차용 고분자 연료전지 스택 개발 중장기 추진 방안



□ 연료전지 버스 스택 개발 중장기 추진 방안

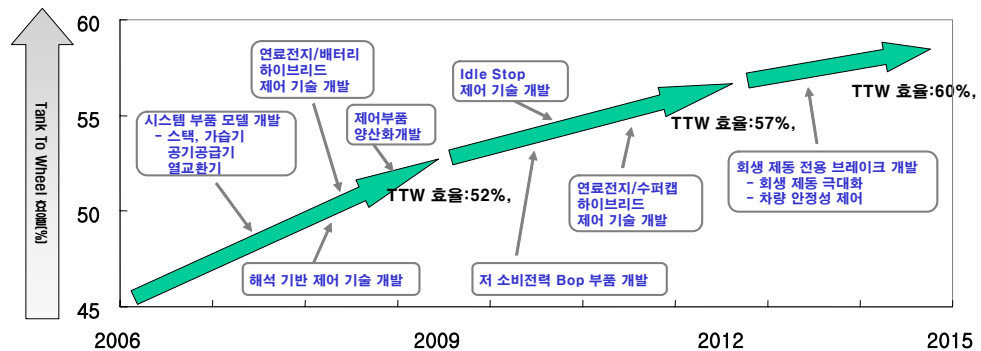


□ 연료전지 운전장치 시스템 개발 중장기 추진 방안



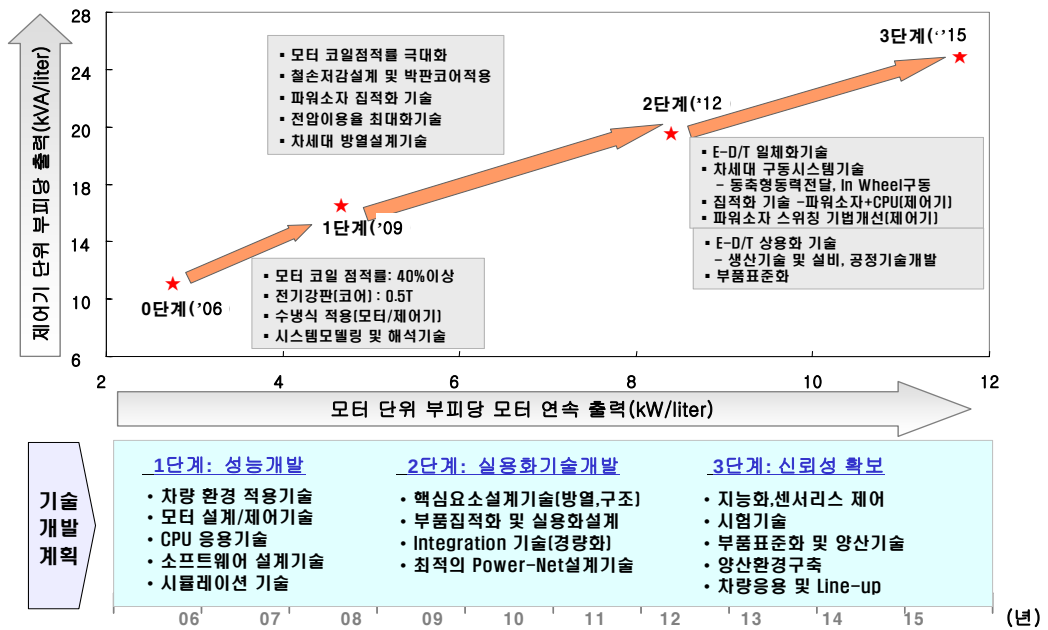
	1단계('06~'08)	2단계('09~'11)	3단계('12~'15)
기술 개발 내용	· 고성능 열 및 관리 기술 개발 - 열교환기 및 라디에이터 최적화 - 전동 펌프 및 냉각 팬 개발 · 운전장치 부품 개발 - 공기 및 수소 재순환 Blower · 센서 및 액추에이터 개발 - 차량용 소형 센서 개발 - 솔레노이드 밸브 개발	· 저온 시동성 확보 및 운전 기술 개발: - 연료전지용 부동 냉매 개발 - 스택 내 수분 제거 시스템 · 시스템 운전 기술 - 능동형 열관리 운전 기술 - 예측형 공기 공급 제어 · 모듈화 설계	· 연료전지시스템 평가 기술 개발 · Sub system 모듈화 · 양산화 기술 개발

□ 연료전지 자동차 제어 기술 개발 중장기 추진 방안



	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
기술 개발 내용	• 시스템 주요 부품 모듈 개발 - 스택, 가습기, APS, 열교환기 • 시스템해석기반 제어기술 개발 - 공기공급 및 수소재순환 제어 - 시스템 열 및 물 수지 제어 • 제어용 양산 부품 개발 - 제어기, 분산제어기, 전류센서 - GFD, 고전압 분배장치 - 고전압 커넥터/케이블			• 시스템 최적운전제어 기술개발 • 상세 부품 모듈 개발 및 검증 • HILS 환경 구축 - Real Time Simulation 개발 • 수퍼캡 하이브리드 기술 개발 • Idle Stop 제어 기술 개발 • 회생제동 용 브레이크 개발 - 브레이크 제어 기술 개발 • 차량 안정성 제어 기술 개발			• 회생제동 용 브레이크 양산화 - 브레이크 모듈 개발 • 제어 시스템 양산화 개발 • 양산 부품 차량 상태 내구평가 • 시범운행을 통한 제어 안정성 평가 • 시스템 수명 개선 제어 및 효율 개선 제어 개발			

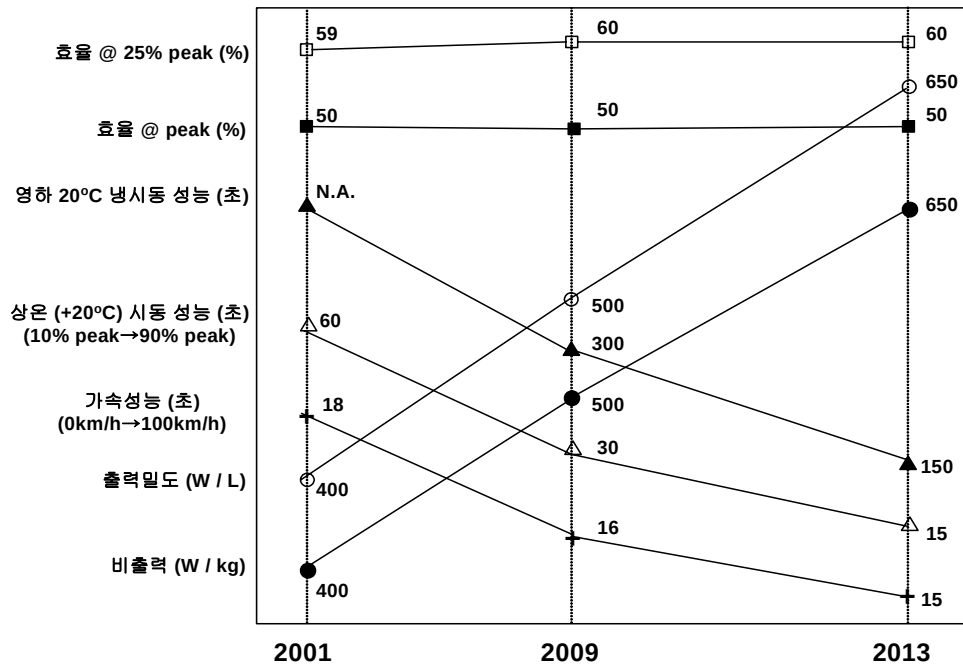
□ 연료전지 자동차용 전기동력 구동시스템 개발 중장기 추진 방안



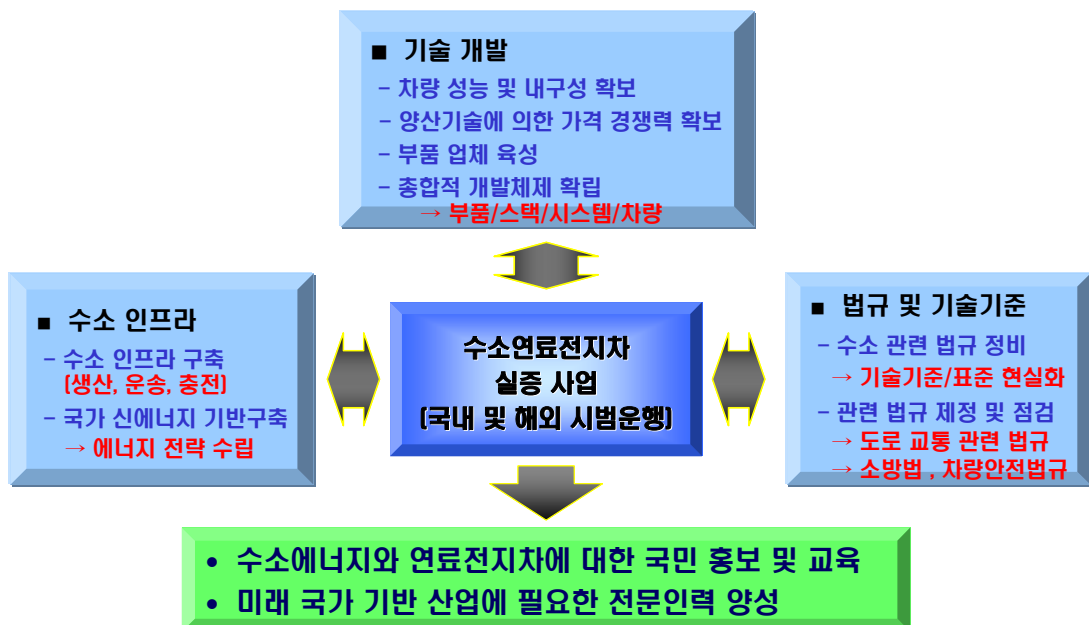
□ 연료전지 시스템/자동차 평가 기술 중장기 추진 방안

구 분		1단계	2단계	3단계
		~2007	2007~2010	2011~2015
단품/ 모듈				
	- 운전 부품 단품 평가	국산화 및 TDP 개발		
시스템				
	- 운전 모듈		TDP 개발	자동 평가 시스템 개발
시스템				
	- 개발 단계 평가	TDP 개발	운전 기술 플랫폼 정립	
시스템				
	- 성능/내구/진동 평가	성능/내구 평가 TDP 개발	진동 평가 TDP 개발	
시스템				
	- 전기동력 조합 평가		평가시스템 구축 및 TDP 개발	차종별 양산 모델 개발 평가
차 량				
	- 동력성능/환경/전장 평가	평가 및 TDP 개발		
차 량				
	- 시범운행		국내외 실증 평가	
차 량				
	- 운동성능/내구성/상품성		평가 및 TDP 개발	

□ 승용 연료전지 자동차 개발 중장기 추진 방안



<연료전지 자동차 출력성능 >



□ 미래형자동차 사업단 과제 동향

미래형자동차 사업단은 자동차부품연구원에서 운영하는 사업단으로서 2004

년부터 2014년까지 사업기간 10년, 총예산 6,694억원 (정부 3,347억원, 민간 3,347억원)으로 운영되고 있으며, 하이브리드자동차 & 지능형자동차 & 연료 전지 자동차의 상용화를 위한 기술개발, 기술기반 구축 등을 주요 사업하는 사업단임

○ 하이브리드 자동차

- 하이브리드용 신동력시스템 및 제어기술 개발
- 가솔린 하이브리드용 신동력시스템 및 제어기술 개발
- 전자브레이크를 이용한 하이브리드 전기차용 회생제동 시스템 개발
- 디젤 하이브리드 전기자동차용 신동력시스템 개발
- 하이브리드 자동차 공통기초 기반기술 개발

○ 지능형 자동차

- 지능형 샤시 통합제어 시스템 개발
- 지능형 샤시 통합제어 시스템 설계, 제작 및 시험평가(A)
- 지능형 샤시 통합제어 시스템 설계, 제작 및 시험평가(B)
- HILS 기반 신뢰성평가기술 개발

○ 연료전지자동차

- 80kW급 승용차용 고분자 연료전지 운전장치 개발
- 연료전지 운전장치 설계 및 평가기술 개발
- 연료전지용 공기공급 시스템 개발
- 연료전지용 열 및 물 관리 시스템 개발
- 연료전지용 전자제어식 냉난방 시스템 개발
- 연료전지용 운전장치 기초기반 기술개발

○ 하이브리드자동차 (엔진)

- 하이브리드용 엔진시스템 개발
- 하이브리드용 디젤엔진시스템 개발
- 하이브리드용 가솔린엔진시스템 개발
- 하이브리드용 엔진시스템 기반기술 개발

<표 25> 연료전지 자동차 관련 과제 현황

항 목	과 제 명	총 개발기간	1단계 개발기간	세 부 과 제	개 발 내 용
연료 전지 자동차	승용차용 80kW급 고분자 연료전지 운전장치 개발	2005. 2 ~ 2010. 2 (5년)	2005. 2 ~ 2008. 2 (3년)	연료전지용 운전장치 시스템설계 및 평가기술개발	- 연료전지용 운전장치 설계 및 해석기술개발 - 수소공급 및 재순환 시스템 설계 및 부품개발 - 스택 - 운전장치 연계 기술개발 - 연료전지 운전장치 제작 및 평가 - 연료전지 제어 기술개발 - 센터 및 액추에이터 개발
				연료전지용 공기 공급 시스템개발	- 열 및 물 관리계 시스템 설계,해석,평가기술개발 - 연료전지용 냉각계 부품 및 요소기술 개발
				연료전지용 공기 공급 시스템개발	- 차량용 공기 공급 시스템 설계 기술개발 - 유해가스 제거 공기 필터 개발 - 소영 고효율 공기 공급기 개발 - 단품 및 시스템 제작 및 평가기술 개발
				연료전지용 전자제어식 냉난방 시스템 개발	- 전자제어식 압축기를 이용한 냉난방 시스템 개발 - 냉난방 시스템 설계 해석기술 개발 - 자연냉매R-744 적용 냉방 시스템 설계 기술 개발
				연료전지용 운전장치 기초기반 기술 개발	- 연료전지 운전장치 구성소재 기반기술 개발 - 수택 내 가습장치, 수분제거 기술 개발

□ 수소연료전지사업단 과제 동향

수소연료전지사업단은 한국과학기술연구원에서 운영하는 사업단으로 산업자원부가 시행하는 대체에너지기술개발사업으로 수소·연료전지, 태양광, 풍력 3대 분야를 사업단 중심으로 기술개발을 추진하고 있으며, 2004년 5월에 출범하여 수소제조, 저장, 인프라 및 발전용, 가정용, 수송용, 휴대용 등 수소경제로의 이행을 위한 기반을 구축하고 있음

<표 26> 1차 선정과제

분야	과 제 명	주관기관 (연구책임자)	연 구 기 간	참 여 기 업	과 제 구 분
수소	수소스테이션 국산화 기술개발	(주)SK (신동현)	'04.09 ~'09.08		기 술 개 발
	탄소나노튜브 이용 수소저장기술 개발	전북대학교 (남기석)	'04.09 ~'09.08		기 술 개 발
	탄화수소 촉매분해에 의한 수소제조기술 개발	성균관대학교 (한귀영)	'04.09 ~'09.08		기 술 개 발
	30Nm ³ /hr급 수소스테이션 건설 및 실증연구	한국가스공사 (이영철)	'04.09 ~'08.08	현대자동차	실용화
연료 전지	자동차 구동용 80kW급 PEMFC 발전모듈 개발	현대자동차 (임태원)	'04.08 ~'09.07	(주)케이코, 평화오일셀(주), (주)퓨얼셀파워, 현대하이스코(주), (주)LG화학	기 술 개 발
	보조전원(APU)용 고체산화물 연료전지(SOFC)발전 시스템 개발	한국에너지기술연구원 (신동열)	'04.09 ~'07.08	(주)효성, (주)SAC, (주)씨에프, (주)단단 승립카본금속(주),	기 술 개 발
	휴대용 50W급 DMFC 시스템 개발	(주)LG화학 (이원호)	'04.09 ~'07.08	LG마이크론(주), (주)진우엔지니어링, 넥스콘테크놀로지(주)	기 술 개 발
	250KW급 용융탄산염 연료전지(MCFC) 발전시스템 실증연구	(주)POSCO (김태형)	'04.09 ~'07.08	(주)효성, 한국가스공사 포철산기(주)	실용화
	가정용 고분자 연료전지시스템 실증연구	GS퓨얼셀(주) (황정태)	'04.09 ~'06.08	한국가스공사	실용화
	1Kw 가정용 고분자 연료전지시스템 실증연구	(주)퓨얼셀파워 (홍병선)	'04.09 ~'06.08	(주)효성	실용화
	가정용 고분자 연료전지시스템 실증연구	대구도시가스(주) (박문희)	'04.09 ~'06.08	온시스,에이피엑스	실용화
	고분자전해질 연료전지 성능평가 및기술기준(안) 작성	한국과학기술연구원(하홍용)	'04.09 ~'06.08	-	실용화
공통	수소·연료전지 표준화사업	정밀화학 공업진흥회 (정문기)	'04.09 ~'07.08	-	실용화

<표 27> 2차 선정과제

분야	과 제 명	주관기관 (연구책임자)	연 구 기 간	참 여 기 업	과 제 구 분
수소	수소 스테이션용 디스펜서의 국산화 기술 개발	(주)덕양에너지 (이택홍)	'04.12 ~'07.12	-	기 술 개 발
	액체연료를 이용한 수소 스테이션 건설 및 실증연구	GS칼텍스(주) (신현길)	'04.12 ~'08.12	-	실용화
연료 전 지	노트북 PC용 50W급 PEMFC 시스템 개발	삼성SDI(주) (이시현)	'04.12 ~'07.12	(주)두산전자산업	기 술 개 발
	모듈형 Compact 연료전지 주변장치 (Balance of Plant, BOP) 설계기술 개발	LG전자(주) (류성남)	'04.12 ~'07.12	(주)오선택, (주)ADT, (주) 모터넷인터네셔널	기 술 개 발
	고분자 연료전지용 분리판 국산화 기술 개발	한국타이어 (김정현)	'04.12 ~'07.12	퓨어셀파워, 명화공업	기 술 개 발
공통	파워 파크 (Power Park) 조성을 위한 기획 연구 사업	한국에너지 기술연구원 (김창수)	'04.12 ~'05.08	-	실용화

<표 28> 2005년도 선정과제 현황

분야	과 제 명	주관기관 (연구책임자)	연 구 기 간	참 여 기 업	과 제 구 분
연료 전 지	미래형 로봇 구동용 연료전지 전원시스템 개발	한국과학기술 연구원 (임태훈)	'05.08. ~'06.07	-	실용화
	버스용(200kW급) 고분자 연료전지 시스템 개발	현대자동차 (임태원)	'05.08. ~'10.07	(주)극동제연, (주)케피코, (주)한라공조, (주)로템, (주)지엠비코리아, (주)현대모비스	기 술 개 발
	모바일기기용 마이크로 연료전지 시스템 개발	삼성전기(주) (장재혁)	'05.12. ~'08.12	-	기 술 개 발

<표 29> 2006년도 선정과제 현황

분야	과 제 명	주관기관 (연구책임자)	연 구 기 간	참 여 기 업	과 제 구 분
모니터링 사업	가정용 연료전지 모니터링 사업	한국가스공사 (박승민)	'06.08. ~'09.07	대구도시가스, 부산도시가스, 해양도시가스, 충남도시가스, 대한도시가스, 경남에너지, 경동도시가스, 예스코, 삼천리, 중부도시가스	실용화
	수소연료전지자동차 모니터링 사업	현대자동차 (임태원)	'06.08. ~'09.07	(주)엔지비	실용화
수소	소형열병합 연료전지 연계형 연료처리 시스템 개발	GS퓨얼셀(주) (황정태)	'06.08. ~'09.07	(주)코캣, (주)에코프로, 어코드(주)	기 술 개 발
	연료전지차량용 고압수소저장시스템 개발 및 실증	현대자동차 (오형석)	'06.08. ~'09.07	(주)로템, (주)모토닉, (주)이노컴, (주)케이시알, 삼우기업(주)	기 술 개 발
	수소스테이션용 다이어프램 압축기 개발	광신기계 (권병수)	'06.08. ~'09.07	-	기 술 개 발
연료전지	소형카트형 연료전지 하이브리드 시스템 개발	(주)프로파워 (황상문)	'06.08. ~'09.07	효성기계공업(주), (주)진우엔지니어링	기 술 개 발
	5kW급 열병합 고체산화물 연료전지 발전시스템 개발	한국전력공사 (유영성)	'06.08. ~'10.07	중부발전(주), 대성산업(주), (주)효성	기 술 개 발
	10kW급 상업용 고분자 전해질 연료전지 시스템 개발	(주)퓨얼셀파워 (홍병선)	'06.08. ~'09.07	유니슨(주), (주)귀뚜라미보일러, (주)플라스포	기 술 개 발
공통	수소·연료전지 안전성 연구	가스안전공사 (김영규)	'06.08. ~'09.07		기 술 개 발

<표 30> 신재생에너지기술개발사업 과제 동향

분야	과 제 명	주관기관 (연구책임자)	연 구 기 간	참 여 기 업	총사업비 (천 원)
수소	고속 충방전용 니켈-수소 2차전지 요소기술 개발	전남대 (박충년)	'93.02 ~'94.12	-	58,000
	수소 자동차용 수소연료 저장시스템 개발에 관한 연구	과기원 (이재영)	'92.02 ~'94.12		169,550
	수소 액화 및 저장 시스템 개발	과기원 (강병하)	'96.01 ~'96.01	홍익대	411,920
	H ₂ S 광변환에 의한 수소제조 기술개발	화학연 (문상진)	'98.01 ~'00.12		295,910
	수소저장 합금을 이용한 자동차용 고성능 냉방기 개발	과기원 (이재영)	'98.01 ~'00.12		218,815
	수소자동차용 고출력 고효율의 이중분사식 수소기관 개발에 관한 연구	성균관대 (이종태)	'98.01 ~'00.12		158,000
	수소-천연가스 중대형 동력시스템 이용 기술 개발	(주)엔지브이텍 (김종우)	'02.06 ~'05.05		908,000
	천연가스로부터 대량 수소 제조 및 수소저장 기술개발	한국가스공사 연구개발원 (백영순)	'01.02 ~'06.01		7,940,000
	전이금속 산화물 나노 튜브를 이용한 고효율 수소저장기술 개발	한국기초과학 지원연구원 (이해성)	'04.06 ~'06.05		183,000
	고분자가 표면에 결합된 다공성 무기입자를 이용한 수소저장 매개체 개발	한양대 (오성근)	'06.08 ~'08.07	-	140,000
	고온 수소분리용 다공성 세라믹 멤브레인 개발	요업기술원 (김영희)	'05.08 ~'07.07		170,000
연료 전지	연료전지 시험, 안전 및 품질기준 평가	KIST (임태훈)	'06.12 ~'09.11	-	360,000
	연료전지 전원공급을 위한 수소저장기술개발	전북대학교 (임연호)	'06.12 ~'09.11	-	330,000

<표 31> 타부처 과제현황 - 에너지관리공단

과제명	주관기관	수행책 임자	기간 (개월)	협약일	총사업비 (천원)
산화-질화 나노구조제어에 의한 저비용 고신뢰성 수소연료전지용 비백금계 전극 개발	충실대학교	박경원	24	2007/06/29	140,000
고분자 연료전지시스템 성능 평가 기반 구축	한국에너지기술연구원		12	2007/06/29	600,000
연료전지 시험, 안전 및 품질기준 평가	한국과학기술연구원	임태훈	36	2006/12/21	360,000
수소연료전지자동차 모니터링 사업	현대자동차 (주) 환경기술연구소	임태원	36	2006/07/24	45,332,000
연료전지(PEMFC, DMFC) 핵심 기술연구센터	한국에너지기술연구원	김창수		2005	10,975,000
수소연료전지 특성화대학원 인력양성 사업	전북대학교	남기석	60	2005/12/28	3,185,000
수소연료전지 특성화 대학원 사업	연세대학교 산학협력단	현상훈	60	2005/12/28	3,676,400
PEMFC에서 3차원 배향된 Ionic Cluster Membrane의 제조 및 특성 연구	순천대학교	박권필	12	1999/06/01	15,000
연료전지자동차 개념설계 및 개발 타당성 연구	한국에너지기술연구원	이원용	24	1998/01/01	56,000
1kW급 고분자 전해질형 연료전지 (SPEFC) 스택 개발	한국가스공사 연구개발원	고영태	24	1994/01/01	275,815
고체전해질형 연료전지 요소기술 및 스택제조기술 개발	쌍용중앙연구소	서일영	48	1994/01/01	1,228,905
연료전지 시스템 예측제어 및 안정화 기술 연구	중앙대학교	김윤호	35	1993/02/01	78,000
고체폴리머전해질형 연료전지용 저가,고효율 기체확산전극의 개발	포항공과대학교	김기문	12	1993/01/01	17,000
고체전해질 연료전지 구성재료의 물성연구(Ⅱ)	서울대학교	유한일	33	1990/04/01	96,539
암모니아 보레인을 이용한 화학적 수소저장 기술개발 선행연구	한국과학기술연구원	안병성	24	2007/06/29	164,000
고분자가 표면에 결합된 다공성 무기입자를 이용한 수소저장 매개체 개발	한양대학교 산학협력단	오성근	24	2006/07/24	140,000
과제명	주관기관	수행책 임자	기간 (개월)	협약일	총사업비 (천원)

수소경제 이행 기반구축을 위한 관련 법.제도 정비방안	에너지경제연구원	부경진		2006/12/21	120,000
고순도 수소 제조용 내구성 치밀질 세라믹 멤브레인 제조기술 개발	요업기술원	황광택	24	2003/07/29	188,000
천연가스로부터 대량 수소제조 및 수소저장 기술개발	한국가스공사 연구개발원	백영순	60	2001/02/24	7,500,000
고밀도 수소저장을 위한 나노기공 탄소 나노섬유막 연구	한국과학기술연구원	이화섭	24	2000/01/12	184,000
수소생성 성능향상을 위한 물 전기분해용 SPE 전극촉매의 제조에 관한 연구	연세대학교	조영일	22	1999/06/01	30,000
희토류 금속을 이용한 고순도 수소 분리, 정제시스템 개발	한국에너지기술연구원	김태환	36	1999/01/01	382,000
수소저장용 혼성금속수소화물의 개발 및 수소저장특성	단국대학교	박찬교	25	1997/12/01	32,000
제올라이트를 이용한 수소의 분리저장 기술개발	경북대학교	허남호	36	1995/01/01	149,584
전기방전법을 이용한 물의 분해에 의한 수소 제조기술 개발	한국과학기술원	이웅무	36	1995/01/01	400,841
태양광에 의한 물에서 수소와 산소 제조	경북대학교	박용태	48	1994/01/01	151,946

<표 32> 타부처 과제현황 - 자동차부품연구원

과제명	주관기관	수행책임자	기간(개월)	협약일	총사업비(천원)
자동차용 연료전지 스택 설계 및 시스템 최적화 기술 개발		유승을	48	2003/06/01	
연료전지 하이브리드 추진 차량용 기초 / 기반 기술개발		유승을	60	2002/06/01	
500W급 연료전지 스택 설계 및 개발		유승을	12	2004/10/01	

마. 특허정보 조사

1) 특허정보 분석

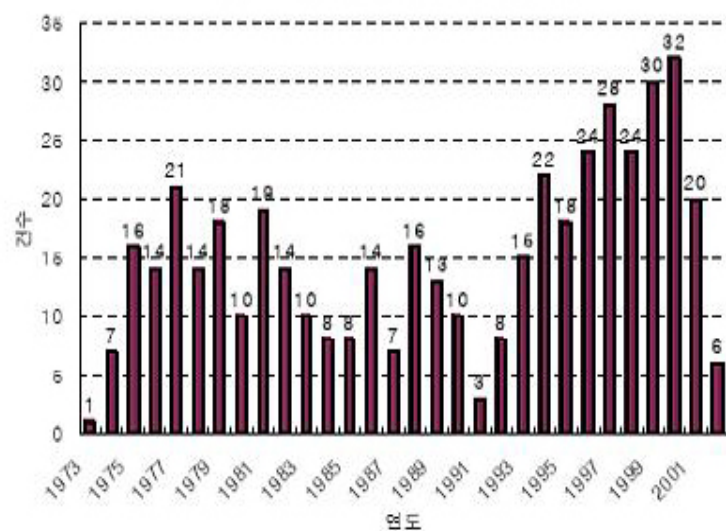
- 수소에너지 관련 기술의 경우 국가적 프로젝트에 의한 개발의 비중이 큰 특징을 지니고 있는 기술분야임

- 국가별로는 연도별 특허출원 건수와 IPC 분류별 세어만을 간단히 살펴본 후, ‘비교분석’에서 국가별 특허출원 동향 및 특성에 대해 비교·분석을 수행하였음

□ 해 외

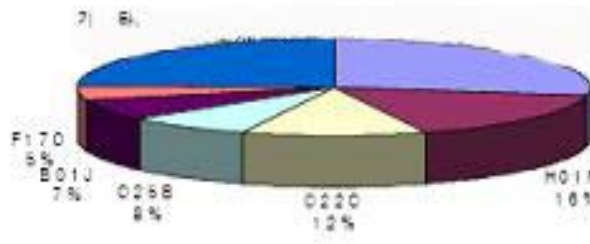
○ 미 국

- <그림 33>은 미국 특허의 연도별 등록 건수를 나타낸 그림임
- 미국 특허의 경우 지금까지 등록된 특허의 수는 총 450개로서, 1970년대 중반 부터 꾸준히 등록되어 왔음
- 특히, 수소에너지 관련 국가 프로젝트가 진행된 1990년 중반 이후 등록특허의 수가 매년 20건 이상으로 증가하였음



<그림 33> 연도별 특허등록 건수 (미국)

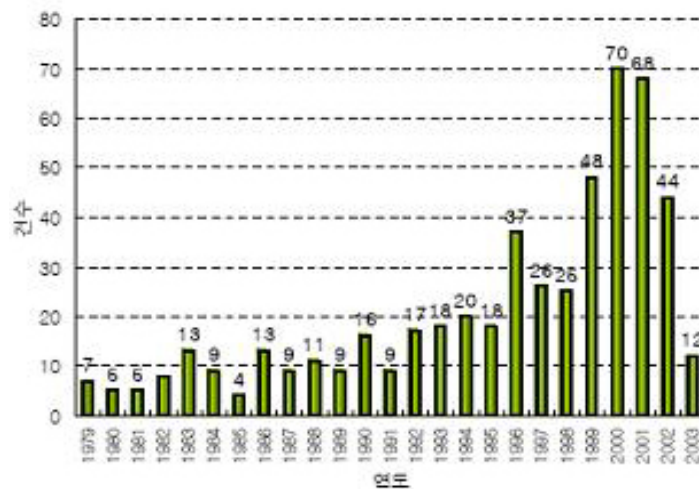
- 2002년에는 6건만이 등록되어 있는데, 미국의 경우 특허출원 후 등록이 되기까지는 평균적으로 3년 6개월이 소요되는 것으로 알려져 있어, 2002년과 2003년의 데이터는 아직 심사가 끝나지 않은 특허출원도 상당히 많기 때문에 불완전한 수치라고 해석할 수 있음
- 미국의 국제특허분류(IPC)에 따른 기술분야별 등록세어를 <그림34>에 나타내었음
- C01B(비금속 원소, 그 화합물) 분야에 해당하는 특허가 27%를 차지하였고, H01M(화학적 에너지 전기적 에너지 직접 변환하기 위한 방법 또는 수단) 분야와 C22C(합금의 처리 또는 비철금속의 처리) 분야의 특허가 각각 16%, 12%를 차지하였음



<그림 34> 국제특허분류에 따른 등록건수(미국)

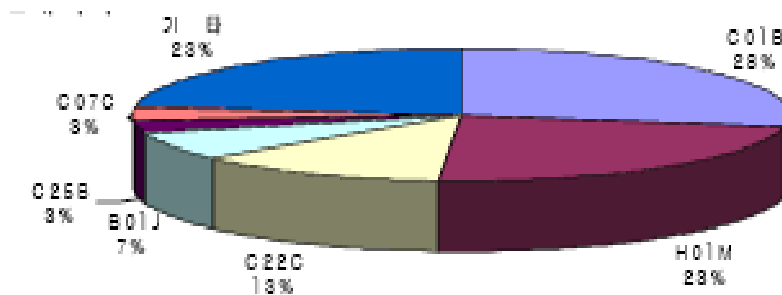
○ 유 럽

- <그림 35>는 유럽 특허의 연도별 출원 건수를 나타낸 그림임
- 유럽 특허는 2003년까지 총 521개의 특허가 출원되었음
- 유럽의 경우에는 미국의 경우보다 1990년대 중반 이후 관련 특허출원의 증가가 두드러지게 나타나, 2000년과 2001년에는 각각 70건, 68건에 이르렀음
- 2002년, 2003년 데이터의 경우 비공개특허는 제외되어 있어 불완전한 결과로 볼 수 있음



<그림 35> 연도별 특허출원 건수(유럽)

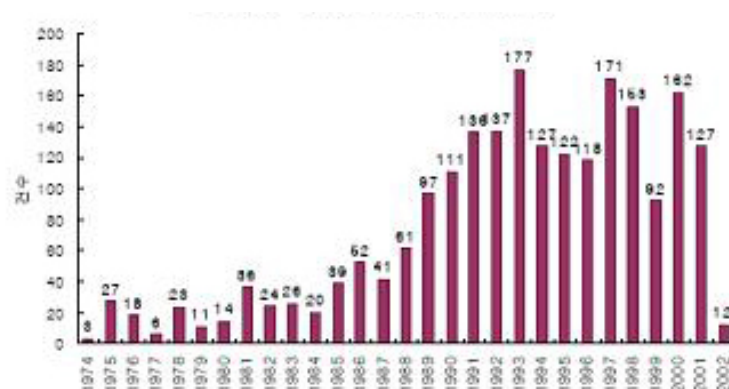
- 유럽의 국제특허분류(IPC)에 따른 기술분야별 등록세어를 <그림 36>에 나타내었음
- 미국의 경우와 마찬가지로 C01B(비금속 원소, 그 화합물) 분야에 해당하는 특허가 28%를 차지하였고, H01M(화학적 에너지 전기적 에너지 직접 변환하기 위한 방법 또는 수단) 분야와 C22C(합금의 처리 또는 비철금속의 처리) 분야의 특허가 각각 23%, 13%를 차지하였음



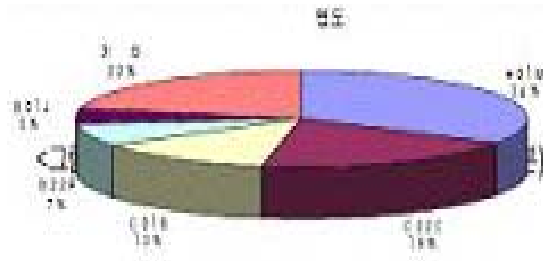
<그림 36> 국제특허분류에 따른 등록건수(유럽)

○ 일 본

- <그림 37>에 일본의 연도별 특허 출원 건수를 나타내었음
- 수소 에너지와 관련된 일본의 특허출원 건수는 무려 2,143건으로 나타나 미국과 유럽을 압도하였음
- 수적 우세뿐만 아니라 일본의 경우 미국과 유럽보다 다소 앞선 1980년대 중반부터 관련특허의 출원이 증가하기 시작하였음을 알 수 있음
- 또한, 일본의 국제특허분류(IPC)에 따른 기술분야별 등록세어를 <그림 38>에 나타내었는데, 미국, 유럽의 경우와는 달리 H01M(화학적 에너지 전기적 에너지 직접 변환하기 위한 방법 또는 수단) 분야가 34%로 가장 큰 비중을 차지하였으며, C22C(합금의 처리 또는 비철금속의 처리) 분야와 C01B(비금속 원소, 그 화합물) 분야의 특허가 각각 19%, 13%를 차지하였음
- H01M이 일본에서 가장 큰 비중을 차지하고 있는 이유는, 일본이 2차 전지 기술에 있어서 최고의 수준을 보유하고 있다는 사실과 일치하는 결과임



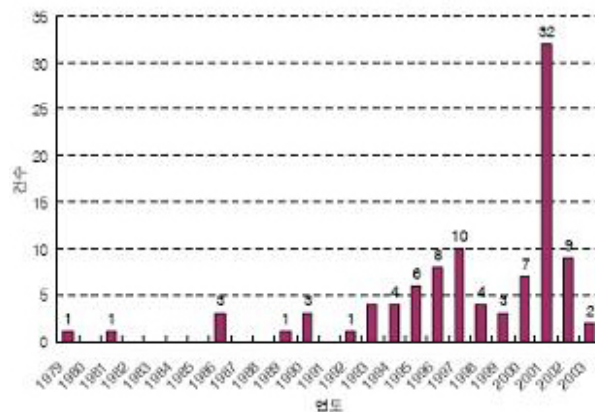
<그림 37> 연도별 특허출원건수(일본)



<그림 38> 국제특허분류에 따른 등록건수(일본)

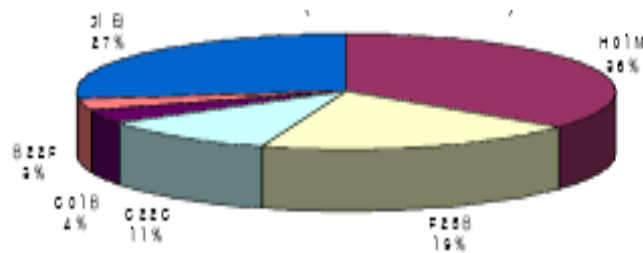
□ 국내

- 국내 관련 특허출원 건수는 총 99건으로서 미국, 일본, 유럽에 비해 크게 뒤지고 있음
- 2000년 이후 다소나마 관련특허 출원 건수가 크게 증가하였는데, 이는 관련기술 개발에 대한 관심과 함께 국가적 프로젝트 지원이 큰 원인이 되었을 것으로 판단됨



<그림 39> 연도별 특허출원 건수(한국)

- 국내의 국제특허분류에 따른 특허출원의 경우 미국, 유럽, 일본과는 달리 F25B(냉동기계, 플랜트(Plants) 또는 시스템)가 H01M 다음으로 큰 비중을 차지하고 있음

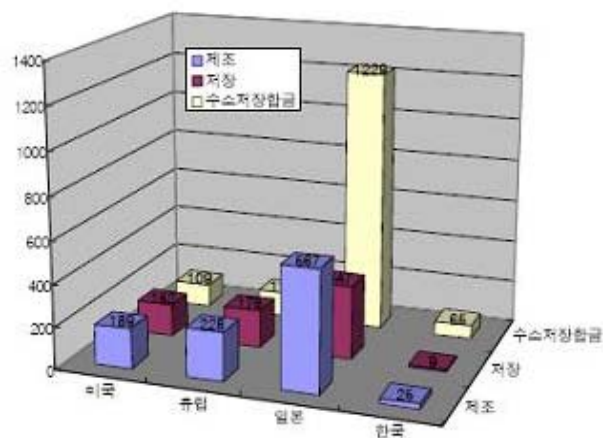


<그림 40> 국제특허분류에 따른 등록건수(한국)

2) 비교분석

- 미국, 유럽, 일본, 한국의 특허출원 분석을 한 결과, 출원건수에 있어서는 일본이 압도적으로 많은 것으로 나타났음
- 일본이 출원 특허의 큰 비중을 차지하고 있는 2차전지에 대한 기술 우위와 함께 수소에너지에 대한 범국가적 지원 상황, 두가지 측면에서 이해가 가능함
- 미국의 경우에도 일본에 비해서는 전체 건수에 있어서 다소 작게 나타나 있으나, 통상적으로 등록건수의 3배 정도가 출원되고 있음을 감안할 경우 수소 제조 관련 특허의 경우 일본과 비슷한 수준을 보이고 있으며, 2차 전지 전극으로 사용되는 수소저장합금 관련특허를 제외한 수소저장 관련 특허의 경우 오히려 일본을 앞서는 것으로 파악할 수 있으며, 이는 미국이 미래에너지에 대한 대안으로서 수소에너지를 집중 육성하고 있는 국가정책과도 상통하는 것임

구분	미국	유럽	일본	한국
제조	189개	228개	567개	25개
저장(합금제외)	152개	178개	347개	9개
수소저장합금	109개	115개	1,229개	65개
총계	450개	521개	2,143개	99개



<그림 41> 국가별, 용도별 특허출원 및 등록건수

- 미국, 유럽에 비해 일본과 한국의 경우 수소저장합금 관련 특허가 수소의 제조 및 저장 관련 특허에 비해 월등히 많은 출원건수를 보이고 있음
 - 수소 제조 및 저장에 비해 2차전지에 대한 관심과 투자가 많은 국가적 특성에 기인하는 것으로 파악됨
 - 전반적으로 수소에너지에 대한 국내 연구활동은 미국, 유럽, 일본과 같은 선진국에 비해 크게 뒤떨어져 있는 것으로 파악되며, 선진국의 경우 미국과 일본의 주도, 2차전지 관련은 경우 일본의 주도로 정리될 수 있음
 - 그러나, 고효율 수소에너지 제조·저장·이용 기술 개발사업단의 출범이 2003년에 이루어진 점, 선진국의 기술 수준이 아직 상용화와는 거리가 멀다는 점에서 수소에너지 관련 기술에 대한 가능성은 열려 있는 것으로 판단됨

4. SWOT 분석

가. 시장/기술의 특징

○ (시장특징)

- 일정 규모 이상의 내수시장과 선진국 및 후진국 등으로 다변화 되어 있는 수출 시장이 있어 연료전지 자동차의 개발시 한 단계 도약할 수 있음
- 현재 기술로 연료전지 자동차의 개발 및 생산이 가능하나 높은 가격으로 인하여 일반 소비자에게 판매하기 어려움
- 선진업체들도 개발 및 소량 생산 수준에 머물고 있으며, 원천기술 확보시 선진업체들과 대등한 시장 경쟁이 가능함
- 수소 연료분야는 무공해 및 대체 에너지원으로서 미래 자동차산업에서 핵심적인 분야로 떠오르고 있음
- 차세대 교통수단으로 수소 연료전지 자동차가 대안으로 부상되고 있으나 현재 부족한 수소 인프라 구축이 관건임

○ (기술특징)

- 현재의 자동차 산업의 기술과 연구인력은 과거 자동차 산업이 성장하던 시기에 비하여 풍부하며 수준 높은 기술력과 경험이 풍부한 연구인력을 보유하고 있음
- 선진국과의 기술격차가 있으나 산학연 공동연구 네트워크를 구성하여 기술격차 극복가능성 있음
- 연료전지 자동차의 스택, 제어부품 등 단품의 국내 기술력은 우수하나 종합적인 시스템화된 기술이 열악함
- 연료전지의 기반이 되는 전기·전자 기술이 국내에 잘 발달되어 있음

나. 기회/위협 요인

○ 기회요인

- 국내 자동차 산업의 세계 선두주자로 부상할 수 있는 기회
- 연료전지 버스의 경우 현재 대도시 대기 오염의 주범으로 지목받고 있는 대형 경유 버스와의 대체시 환경적·경제적인 효과가 큼
- 국내 소비자들의 환경, 에너지 등에 대한 의식 증대
- 연료전지 자동차 기술의 경우 아직까지 확실한 선점 주체가 없으므로 향후

노력 여하에 따라서 국내 기술이 세계 선두 주자로 부상할 수 있는 기회로 활용할 수 있음

- 미래의 성장동력 산업으로 지정되어 각 분야별로 연구활동 활성화
- 환경친화적 자동차에 대한 정부 지원 강화
- 미국 및 유럽 등에서 배출가스 규제 강화 및 CO₂ 규제 실시로 인하여 무공해 자동차의 조기 개발 필요성 증대
- 국제사회의 안전기준에 대한 한국의 역할 증대 요구

○ 위협요인

- 부품업체의 독자개발 능력이 부족하여 연료전지 자동차관련 부품기반이 매우 취약한 상태임
- 선진국 기술력 대비 열악한 국내 기술개발로 인하여 관련 기술의 특허독점이 연료전지 자동차 개발 국내업체에 위협으로 작용
- 선진국의 기술 독점으로 인한 국제 표준화 선점 등은 위협 요소임
- 선진국뿐만 아니라 중국 등 개도국도 연료전지 자동차에 대한 개발 및 보급 지원 강화
- 안전성 평가기술 개발을 위한 평가시험시설 기반 구축 및 확보 지연

다. 강점/약점 요인

○ 강점 요인

- 연료전지 자동차 기술의 기반이 되는 전기·전자기술이 잘 발달되어 있음
- 각국의 배출가스 규제강화와 CO₂ 배출 규제에 적합
- 자동차관련 산업기반(기계, 화학, 금속 등) 이 잘 조성되어 있음
- 국내업체에서 독자적인 연료전지 기술을 보유하고 있음
- 무공해 자동차 개발 및 보급에 대한 정부의 정책 추진 의지

○ 약점 요인

- 선진업체들은 확보된 원천기술을 바탕으로 전략적 제휴를 확대하고 있으나 국내업체는 원천기술이 부족함
- 현재 연료전지 자동차의 가격이 내연기관 및 하이브리드 자동차에 비하여 매

우 높음

- 정부차원의 연구 지원 및 공감대 인식 미흡
- 부족한 연료전지 자동차에 대한 R&D 투자규모 (연구인력 및 투자액 등)
- 외국 선진업체들에 비하여 원천기술 수준이 떨어짐

<표 33> 연구기술 분야의 SWOT분석 결과

SWOT 분석을 통한 전략방향 도출	O(기회)	T(위협)
	· 국내 자동차 산업의 세계 선두주자로 부상 기회 · 연료전지 버스의 경우 대형 경유 버스와의 대체효과 큼 · 국내 소비자들의 환경, 에너지 등에 대한 의식 증대 · 기술의 확실한 선점 주체가 없으므로 국내 기술이 선점할 수 있음 · 환경친화적 자동차에 대한 정부 지원 강화	· 부품업체의 독자개발 능력이 부족하여 연료전지 자동차 관련 부품기반 매우 취약 · 선진업체의 관련 핵심기술의 특허독점 · 선진국의 기술 독점으로 인한 국제 표준화 선점 · 선진국뿐만 아니라 중국 등 개도국도 연료전지 자동차에 대한 지원 강화
S(강점)	SO전략	ST전략
· 연료전지 자동차 기술의 기반이 되는 전기·전자기술이 잘 발달되어 있음 · 각국의 배출가스 규제강화와 CO₂ 배출 규제에 적합 · 자동차관련 산업기반(기계, 화학, 금속 등) 이 잘 구성되어 있음 · 국내업체의 독자적인 연료전지 기술보유	· 잘 발달된 전기·전자기술과 산업기반 조성을 활용하여 세계 4위의 자동차산업의 강국으로 부상 · 독자적인 연료전지 기술의 활용으로 세계적 수준의 기술의 선점 확보 · 무공해 수소연료전지 자동차의 보급으로 대기오염 감소 및 대체에너지 확보	· 우수한 전기·전자기술 연구인력을 활용한 독자기술 개발 능력 향상 및 독자적인 연료전지 기술의 특허 선점 노력 · 연구결과의 국제 표준화 및 GTR 연계 작업 강화 · 국내 산학연 기관들이 수소 연료전지 자동차 안전성 평가기술을 개발 및 확보하여 자동차 선진국의 기술 독점으로 인한 기술종속 정책에 효과적 대처
W(약점)	WO전략	WT전략
· 국내업체의 핵심 원천기술의 부족 · 연료전지 자동차의 가격이 내연기관 및 하이브리드 자동차에 비하여 매우 높음 · 정부차원의 연구 지원 및 공감대 인식 미흡 · 부족한 R&D 투자규모 (연구인력 및 투자액 등) · 외국 선진업체들에 비하여 원천기술 수준이 떨어짐	· 산학연 공동연구를 통한 핵심원천기술 확보로 국내기술의 세계적 기술화 · 환경친화적 자동차의 정부 지원 강화로 연구지원 및 높은 공감대 형성 · 연료전지 자동차의 높은 가격을 고려한 정부의 조달노력 및 구매 자금 지원 확대	· 외국 연구기관의 협력 제휴 및 공동연구로 기술한계 극복 · 양질의 연구시설 및 인력의 확보로 핵심기술 개발, 국제 표준화 적극정 대응 · 외국 선진업체 연구동향을 잘 파악하여 핵심 기술의 특허회피 등 시행착오 최소화

5. 추진전략 및 방법

가. 전략적 목표

- 수소·연료전지 자동차의 특징
 - 미래의 가장 각광 받는 대체연료이며, 완전한 무공해 자동차
 - 실시간으로 필요한 전기에너지를 만들어 사용하는 전기자동차
 - 연료전지 스택의 정상 작동을 위해 수소 및 공기 공급장치, 물 및 열관리 시스템의 유기적인 작동이 필요함
 - 차량용 연료전지 스택은 작동 온도에 따라 높은 성능 민감도를 지님
특히, 0℃ 이하의 저온에서 정상 성능을 유지하는 것이 관건임
 - 연료전지 스택에는 엔진과 같은 움직이는 부분이 없으므로 소음 발생 저감
 - 연료전지차의 보급은 수소충전소와 같은 사회 간접시설이 수반되어야 함
 - 수소연료전지 자동차는 현재 내연기관 자동차와는 달리 고압 또는 액화 수소를 연료를 사용함으로 인하여 액체연료를 사용하는 내연기관 자동차와는 전혀 다른 특성들을 나타내고 있음
 - 특히 고압 또는 액화 수소의 사용으로 인하여 기존 자동차와는 다른 방향의 안전성 확보문제가 대두됨
 - 대체에너지, 무공해의 장점으로 각광받고 있는 수소연료전지 자동차는 안전성 보증을 확인하기 위하여 별도의 절차와 기술개발이 필요함
- 수소연료전지 자동차의 안전성 보증에 적용되는 절차는 기본적으로 3가지로 구성됨
 - 위험도 평가(Risk Assessment) : 잠재된 위험성을 규정한 절차
 - 위험도 관리(Risk Management) : 기술, 보조시스템, 제어, 사용한계, 위험에 대한 경고 등의 응용
 - 인증시험(Validation Testing) : 분석적 평가와 위험도 저감에 필요로 하는 안전장치를 입증하는 시험
- 수소연료전지 자동차의 안전성 보증절차는 정상적인 주행상태, 수소 주유상태, 수리 및 주차시, 충돌사고시와 같은 소비자 사용 특성이 반영되어야 하며, 특히, 개방된 공간과 밀폐된 공간에서의 주행상태와 주차상태가 포함되어야 함
- 위험도 평가는 중요한 수소연료전지 자동차 시스템의 기술적인 분석에서

시작되고, 실제 도로주행에서 나타나지 않는 영향은 악조건하에서 결함 재현시험을 실시하고 영향에 대한 결과를 분석하여야 하고, 구성부품과 시스템 결함모드와의 연결관계는 다중경로방식을 이용하여 위험한 결과를 피하고 차단하여야 함

- 위험도 평가절차는 영향도, 발생확률, 예기치 않는 결함의 운전자 경보기 능력과 같은 결함규명을 전형적으로 순위 매김으로써 결론을 도출할수 있음
- 전형적인 위험도 관리에 대한 절차는 안전에 방해되는 심각한 위험상황, 특히 내재된 결함모드에 따른 위험요인을 방지하기 위하여 설계되어야 하며, 설계 및 기술은 완성된 자동차, 개별시스템, 구성부품들의 모의분석과 시험, 실차시험에 의해 검증된 위험도 관리 시험으로 규명되어야 함
- 제3자에 의한 인증시험은 단품시험, 시스템 평가에 대하여 수소연료전지 자동차가 운행되는 각 나라에 따라 인증되어야 하며, 각 나라별 인증기관은 수소연료전지 자동차의 설계, 제작사가 제안한 안전성 분석 및 향후 연료전지 자동차의 각 나라의 형식승인을 취득하기 위한 사전검토를 시행하여야 함

1) 기술적 측면

- 국내 산. 학. 연 기관들이 수소연료전지 자동차 안전성 평가기술의 주요 핵심 기술을 개발 및 확보하여 자동차 선진국의 기술 독점으로 인한 기술종속 정책에 효과적 대처함
- 연료전지자동차 개발시 연료전지 스택 및 연료전지 주변장치, 연료전지 운전 및 제어시스템, 연료전지자동차의 차량 시스템 및 제어기술에 대한 안전성 평가기술 개발을 통하여 경제성 있고 실용적인 연료전지자동차를 개발할 수 있는 기반 조성함
- 연료전지 시스템 및 자동차 제어 시스템의 안전성평가 기술 개발을 통한 제어 및 계측 기술의 발전

2) 사회·경제적 측면

- 지구 환경보호라는 기치하에 선진국 주도로 진행되고 있는 Green Round에서 국제적 연비기준 달성, 무공해자동차 사용의 의무화, 및 CO₂ 배출량이 적은 연료사용 의무화 및 사용비율 확대와 같은 구체적 협약이 채택되는 것에 대비하여 국내산업 기반의 조기구축이 가능함
- 매장량이 한정된 화석연료에 치중되어 있는 수송분야에서의 에너지 편중화를 해결하여 에너지원의 다양화를 얻을 수 있을 것임

- 연료전지자동차 개발 관련산업인 연료전지, 개질기, 촉매, 소재 등과 같은 석유화학, 소재분야와 모터, 밋배리, 전력전자와 같은 첨단제어와 같은 전기전자분야의 신규사업의 발달로 대규모의 인력 고용효과 발생함

나. 연구개발 전략

- 수소연료전지 자동차는 2010년경 전세계 자동차 시장의 약 2%를 차지하며, 2015년 이후 시장이 성숙되어 2020년경에는 주력 차종으로 성장할 것으로 예측되고 있음
- 기존 자동차와는 패러다임이 전혀 다른 수소연료전지 자동차는 현재 다양한 방향으로 연구 개발되고 있으므로 수소연료전지 자동차 안전성확보를 위한 평가기술 개발도 자동차 발전기술과 더불어 개발되고 진행되어야 함
- 따라서 수소연료전지 자동차의 안전성평가 기술개발은 자동차제작사의 수소연료전지 자동차의 기술 발전 속도와 보조를 맞추어 앞으로 지속적으로 수행되어야 하며, 본 기획보고서에는 연구과제를 5년의 개발기간을 두고 중점적으로 검토하였으나 최종성과물의 개발이 완료되기 전에 1단계 5년 이후의 2단계 기획연구가 필요할 것으로 사료됨
- 본 연구는 현재 시행 중인 자동차관리법의 하위법령인 “자동차 안전기준에 관한 규칙”의 평가를 기본으로 삼고 있으며, 안전기준의 시험항목 뿐만 아니라, 포함되어 있지 않는 분야에 대한 평가기술 개발과 함께 안전기준(안) 및 안전기준 시행세칙(안)을 도출하는 것이 최종 목표임
- 또한 국내 안전기준과 관련된 FMVSS, ECE, 일본 보안기준의 적용성 분석은 물론 연구결과를 토대로 세계기술규정(GTR) 및 ISO 제·개정에 적극 참여가 필요함
- 수소·연료전지 자동차에 대한 다양한 평가항목과 안전성 확보기술에 대한 대안이 검토되고 거론될 수 있으나, 연구기간 및 연구비 등을 고려하여 가장 실효성이 높은 항목부터 우선 선정하여 연구를 진행해야 할 것임
- 수소·연료전지 자동차의 안정성 확보 기술개발은 정부 정책의 변화가 뒤따라야하므로 관련 정책의 영향 등을 고려하여 연구계획을 수립되어야 함
- 수소연료전지 자동차의 안전성 확보를 통하여 사고위험도 제고는 정부에서 시행중인 여러가지 교통안전사업의 시너지 효과를 낼 수 있음
- 수소연료전지 자동차의 안전도 평가 기술개발은 국민의 생명과 재산을 직접적

으로 보호하고, 한국의 자동차 산업 진흥을 위해서 필수적으로 국가가 주도적으로 추진하여야 함

다. 사업화 전략

- 본 연구사업은 수소연료전지자동차의 안전성 확보 및 향상시키는 연구과제로서 자동차, 운전자 및 보행자 등과 같은 요인들이 유기적이고 원활한 조화를 이루도록 각 연구분야별 결과물들이 연결되어야 하는 과제임
- 본 연구사업의 특성상 자동차 산업과의 연계 및 긴밀한 협조체계는 필수적이며, 본 과제와 직접적인 연관이 있는 국내 연료전지자동차 개발업체와의 협동연구체계를 구성하여야 함
- 본 연구사업의 추진결과는 자동차 안전도 향상 기술개발 관련된 자동차 부품의 기술개발을 촉진하여 세계적인 수준의 자동차 부품기술을 가질 수 있을 것으로 판단됨
- 또한 국제기준 제정에 있어서는 정부 기관, 관련 자동차 업체 및 관련 부품업체, 학계, 연구소 등 관련된 연구자들의 의견을 종합적으로 수렴하여 진행하는 것이 필요하며, 수소연료전지 자동차의 안전관련 GTR 제정에 관해서는 국제기준 제정과 보조를 맞추어야 함
- 수소연료전지자동차의 기술개발은 기존의 전기, 기계 분야 뿐만 아니라 핵심부품인 연료전지를 위한 소재 기술 및 신규 공정기술이 발달하게 될 것으로 타분야에 대한 시너지 효과가 큼
- 수소연료전지 기술의 발전은 수소제조 및 공급, 신소재 산업 등 신산업 창출에 기여할 것으로 기대되며, 또한 수소연료전지 기술이 자동차를 통하여 실효성을 입증하게 되면 가정용 및 산업용 발전기, 잠수함, 항공기, 우주산업 등 막대한 수요가 창출될 것으로 예상됨

6. 연구분야 도출 과정

- 수소·연료전지 자동차의 안전성 평가기술 개발을 위한 사전기획연구를 위하여 과업지시서의 연구과제 및 범위의 14개 연구분야와 자체적으로 기획한 5개 연구분야를 추가하여 4개 연구분야, 19개의 연구내용으로 초안을 작성하였다. 19개의 연구내용은 제도·정책분야는 5개 연구내용, 수소안전성 확보분야는 4개 연구내용, 자동차 안전성 확보분야는 6개 연구내용, 전기안전성 확보분야는 4개 연구내용으로 분류하였음

<표 34> 1차 도출된 연구분야 및 연구내용

연구분야명	연구내용명	비고
제도 정책 분야	연료전지 자동차 자료조사	1년
	수소 및 수소혼합연료 자동차 자료조사	1년
	안전기준 국제협력	5년
	수소자동차 취급요령 및 안전교육	3년
	사고 구난시 대응 매뉴얼 연구	3년
수소 안전성 확보분야	누출 및 충돌시험시 수소 대체물질 연구	2년
	수소 저장 및 공급시스템 안전성평가 연구	5년
	수소 누설감지 및 차단 시스템의 평가방안 연구	4년
	충전시 차량과 충전소간 안전성 평가방안 연구	3년
자동차 안전성 확보분야	현행 안전기준 부합성 평가 연구	5년
	연료전지, 배터리, 슈퍼커패에 대한 열관리 시스템 평가방안 연구	2년
	FAIL-SAFETY 모드 안전성 평가 연구	4년
	수소 및 수소혼합 내연기관 성능분야 연구	2년
	수소연료전지 자동차 폐기 관리방안 개발	2년
	연료전지시스템 고장진단 연구	4년
전기 안전성 확보분야	연료전지, 배터리, 슈퍼커패에 대한 전기관리 시스템 평가방안 연구	3년
	연료전지 및 고전압시스템 전기안전성 연구	5년
	연료전지 및 전기전자시스템 전자파 안전성 연구	4년
	연료전지 자동차용 대용량 모터성능 및 안전성 평가 연구	4년

- 1차 초안인 4개 연구분야, 19개 연구내용으로 6월 28일 전문가 자문회의를 개최

한 결과, 4개 연구분야의 12개 연구내용로 조정되었으며, 이를 중간보고에 반영하였음

- 제도정책 분야 : 4개 ⇒ 2개로 조정

- “연료전지 자동차 자료조사”, “수소 및 수소혼합연료 자동차 자료조사”, “안전기준 국제협력” 3개의 연구분야는 동향분석 및 국제협력 성격임으로 통합하여 “수소·연료전지 자동차의 제도/정책 동향분석 및 안전기준 국제조화 연구” 1개 연구분야로 하였음
- “수소자동차 취급요령 및 안전교육”, “사고 구난시 대응 매뉴얼 연구”와 자동차 안전성 확보분야의 “수소연료전지 자동차 폐기 관리방안 개발” 3개의 연구분야는 3년 또는 2년 과제였으나, 과제들 성격상 다른 연구분야들의 결과물을 활용해야 하는 것이므로 1개로 통합하고 또한 과제 수행기간도 1년으로 단축하여 “수소·연료전지자동차 안전관리, 구난체계 및 폐기방안 선행 연구” 과제로 정리하였음

- 수소 안전성 확보 분야 : 4개 ⇒ 3개로 조정

- “누출 및 충돌시험시 수소 대체물질 연구”, “수소 저장 및 공급시스템 안전성평가 연구” 2개의 연구분야는 대체물질 연구가 별도의 연구분야로 진행하는 것보다는 수소저장 및 공급시스템의 연구내용으로 진행하는 것으로 통합하여 “차량용 수소 저장 및 공급시스템의 안전성 확립을 위한 평가기술개발” 1개 연구분야로 하였음

- 자동차 안전성 확보분야 : 6개 ⇒ 4개로 조정

- “연료전지, 배터리, 슈퍼커패시터에 대한 열관리 시스템 평가방안 연구”는 연구의 당위성이 부족하여 삭제하였으며, 필요시 일부 내용은 다른 과제 반영.
- “연료전지시스템 고장진단 연구”는 과제의 성격이 유사한 “FAIL-SAFETY 모드 안전성 평가 연구”와 통합하여 “연료전지자동차 FAIL-SAFETY 모드 안전성 평가 연구” 과제로 정리하였음
- “수소연료전지 자동차 폐기 관리방안 개발” 과제는 제도정책분야의 “수소·연료전지자동차 안전관리, 구난체계 및 폐기방안 선행 연구” 과제로 통합하였음
- 신규 발굴과제로서 자동차 충돌사고시 발생될 수 있는 화재에 대한 안전성 평가를 연구하는 “수소·연료전지 자동차 화재안전성 연구” 과제를 추가하였으며, 화재안전성에 대한 상세한 검토를 다음 회의에 토의 예정

- 전기 안전성 확보분야 : 4개 ⇒ 3개로 조정

- “연료전지, 배터리, 슈퍼커패에 대한 전기관리 시스템 평가방안 연구”는 “연료전지 및 고전압시스템 전기안전성 연구”에 통합하여 진행

<표 35> 2차 도출된 연구분야 및 연구내용

연구분야명	연구내용명	비고
제도정책분야	수소·연료전지 자동차의 제도/정책 동향분석 및 안전기준 국제조화 연구	5년
	수소·연료전지자동차 안전관리, 구난체계 및 폐기방안 선행연구	1년
수소 안전성 확보분야	차량용 수소 저장 및 공급시스템의 안전성 확립을 위한 평가기술개발	5년
	수소 누설감지 및 차단 시스템의 평가방안 연구	4년
	충전시 차량과 충전소간 안전성평가방안 연구	3년
자동차 안전성 확보분야	연료전지자동차 안전기준 부합성 평가 연구	5년
	수소·연료전지 자동차 화재안전성 연구	5년
	연료전지자동차 FAIL-SAFETY 모드 안전성 평가 연구	4년
	수소 및 수소혼합 내연기관 성능분야 연구	2년
전기 안전성 확보분야	연료전지 및 고전압시스템 전기안전성 연구	5년
	연료전지 및 전기전자시스템 전자파 안전성 연구	5년
	연료전지 자동차용 대용량 모터 및 제어기 안전성 연구	4년

○ 기획연구의 중간보고시 제출된 4개 연구분야, 12 연구내용으로 7월 12일 전문가 자문회의를 개최한 결과, “자동차 안전성 확보분야”를 “수소·연료전지자동차 안전성평가 기술개발 연구”의 세부분야 명칭으로 사용하기 부적절하다는 전문 자문위원들의 의견이 제시되어 “차량운행 안전성 확보 분야”로 명칭을 변경하였고, 연구분야는 4개, 9개 연구내용으로 조정하였음

- 제도정책분야 : 2개 ⇒ 2개

- “수소 및 수소혼합 내연기관 성능분야 연구”의 연구분야를 “수소·연료전지 자동차의 제도/정책 동향분석 및 안전기준 국제조화 연구”에 포함하여 진행하며, 수소 및 수소혼합 내연기관에 대한 분석 및 원동기출력 시험방법

분석으로 한정하고 과제 소요예산을 재조정하였음

- “수소·연료전지 자동차 화재안전성 연구” 과제 중에서 대형 충돌사고에 의한 교통사고 분석에 대한 내용을 “수소·연료전지 자동차의 제도/정책 동향분석 및 안전기준 국제조화 연구”에 포함하여 진행하는 것으로 수정하였음
- 수소 안전성 확보 분야 : 3개 ⇒ 3개
 - “수소·연료전지 자동차 화재안전성 연구” 과제 중에서 수소저장장치에 대한 화재 안전성 평가 등을 “차량용 수소 저장 및 공급시스템의 안전성 확립을 위한 평가기술 개발”에 포함하여 진행하는 것으로 수정하였음
- 차량운행 안전성 확보 분야 : 4개 ⇒ 2개
 - “수소·연료전지 자동차 화재안전성 연구” 연구분야를 화재안전성과 관련된 내용들을 제도정책분야의 “수소·연료전지 자동차의 제도/정책 동향분석 및 안전기준 국제조화 연구”와 수소안전성 확보분야의 “차량용 수소 저장 및 공급시스템의 안전성 확립을 위한 평가기술 개발”에 분산하고 삭제하였음
 - “수소 및 수소혼합 내연기관 성능분야 연구” 연구분야를 제도정책분야의 “수소·연료전지 자동차의 제도/정책 동향분석 및 안전기준 국제조화 연구”에 포함하고 삭제하였음
- 전기 안전성 확보분야 : 3개 ⇒ 2개로 조정
 - “연료전지 자동차용 대용량 모터 및 제어기 안전성 연구” 연구분야를 “연료전지 및 고전압시스템 전기 안전성 연구”와 “연료전지 및 전기전자시스템 전자파 안전성 연구”에 포함하고 삭제하였음

<표 36> 3차 도출된 연구분야 및 연구내용

연구분야명	연구내용명	비고
제도 정책 분야	수소·연료전지 자동차의 제도/정책 동향분석 및 안전기준 국제조화 연구	5년
	수소·연료전지자동차 안전관리, 구난체계 및 폐기방안 선행연구	1년
수소 안전성 확보분야	차량용 수소 저장 및 공급시스템의 안전성 확립을 위한 평가기술개발	5년
	수소 누설감지 및 차단 시스템의 평가방안 연구	4년
	충전시 차량과 충전소간 안전성 평가방안 연구	3년
차량운행 안전성 확보분야	연료전지자동차 안전기준 부합성 평가 연구	5년
	연료전지자동차 FAIL-SAFETY 모드 안전성 평가 연구	4년
전기 안전성 확보분야	연료전지 및 고전압시스템 전기 안전성 연구	5년
	연료전지 및 전기전자시스템 전자파 안전성 연구	5년

- 4개 연구분야, 9 연구내용로 각계 전문가의 설문조사를 한 결과, 수소연료전지 관련 전문가의 의견이 수소안전성분야에서 “차량용 수소저장 공급시스템의 안전성 확립을 위한 평가기술 개발”과 “수소 누설감지 및 차단시스템의 평가방안 연구”를 “차량용 수소 저장 및 공급시스템의 안전성 확립을 위한 평가기술 개발”로 통합하는 의견이 개진되고, 타부처 (에너지관리공단, 자동차부품연구원) 에서 시행하는 과제와의 중복성을 고려하여 총 4개 연구분야, 8개 연구내용으로 확정함

<표 37> 4차 도출된 연구분야 및 연구내용

연구분야명	연구내용명	비고
제도 정책 분야	수소·연료전지 자동차의 제도/정책 동향분석 및 안전기준 국제조화 연구	5년
	수소·연료전지자동차 안전관리, 구난체계 및 폐기방안 선행연구	1년
수소 안전성 확보분야	차량용 수소 저장 및 공급시스템의 안전성 확립을 위한 평가기술개발	5년
	충전시 차량과 충전소간 안전성 평가방안 연구	3년
차량운행 안전성 확보분야	연료전지자동차 안전기준 부합성 평가 연구	5년
	연료전지자동차 FAIL-SAFETY 모드 안전성 평가 연구	4년
전기 안전성 확보분야	연료전지 및 고전압시스템 전기 안전성 연구	5년
	연료전지 및 전기전자시스템 전자파 안전성 연구	5년

- 전문가의 설문조사를 반영하여 4개의 연구분야, 8개의 연구내용으로 확정되었고 정부예산 232억을 책정하였지만, 기획보고서의 객관성 및 전문성을 재차 검증하기 위하여 한국건설교통기술평가원에서 개최된 자문회의의 결과 책정된 정부예산이 다소 크다는 공통된 의견이 제기되어 최종적으로 정부예산 188억을 책정하였음.

7. 연구분야 및 주요 연구개발 내용

가. 목표에 부합되는 연구분야 도출

- 1) 연구분야1) : 수소·연료전지 자동차의 제도/정책 연구
- 2) 연구분야2) : 수소·연료전지 자동차의 수소안전성 기술 연구
- 3) 연구분야3) : 수소·연료전지 자동차 운행안전성 기술 연구
- 4) 연구분야4) : 수소·연료전지 자동차 전기안전성 기술 연구

나. 개발목표

<표 38> 연구분야 및 기술개발목표

연구분야	기술개발목표
수소·연료전지 자동차의 제도/정책 연구	• 수소·연료전지 자동차의 제도/정책 동향분석 및 안전기준 국제조화 연구 • 수소·연료전지자동차 안전관리, 구난체계 및 폐기방안 선행연구
수소·연료전지 자동차의 수소안전성 기술 연구	• 수소 저장 및 공급시스템 안전성 평가 연구 • 충전시 차량과 충전소간 안전성 평가방안 연구
수소·연료전지 자동차 운행안전성 기술 연구	• 수소·연료전지 자동차 안전기준 부합성 평가 연구 • 연료전지자동차 FAIL-SAFETY 모드 안전성 평가 연구
수소·연료전지 자동차 전기안전성 기술 연구	• 연료전지 및 고전압시스템 전기안전성 연구 • 연료전지 및 전기전자시스템 전자파 안전성 연구

다. 연구분야별 개발기술 목표

- 1) 연구분야(1) : 수소·연료전지 자동차의 제도/정책 연구

○ 기술개발 목표

- 수소·연료전지 자동차의 제도/정책 동향분석 및 안전기준 국제조화 연구
 - 외국의 연료전지 자동차 안전관련 법규 동향 및 연구방향 분석
 - 각 제작사별 연료전지자동차 개발 및 실용화 동향 파악
 - 수소·연료전지 자동차의 안전기준 국제조화를 위한 WP.29 등 국제회의

대응

- 자동차 충돌에 의한 대형사고 분석
- 수소 및 수소혼합 연료 자동차 안전관련 법규 동향 및 연구방향 분석
- 각 제작사별 수소 및 수소혼합 연료 자동차 개발 및 연구 동향
- 수소·연료전지자동차 안전관리, 구난체계 및 폐기방안 선행연구
- 수소·연료전지자동차 안전관리를 위한 교육·홍보자료 기초연구
- 비정상 운행시의 수소연료 자동차의 안전확보 매뉴얼 기초연구
- 수소·연료전지자동차의 폐기관련 환경부하 분석 및 인체 유해물질 기초연구

○ 주요연구내용

- 수소·연료전지 자동차의 제도/정책 동향분석 및 안전기준 국제조화 연구
- 외국의 연료전지 자동차 안전관련 법규 동향 및 연구방향 분석
- 연료전지 자동차의 특성상 그 동력 계통이나 연료 계통이 기존의 내연기관 자동차와 뚜렷이 구별되며 이에 따라 자동차의 패키징 기술 또한 그 특성에 맞게 개발되어야 함
- 특히 수소 연료탱크의 경우 그 장착 공간 확보가 자동차의 일회 충전 주행거리와 직결되며 충돌시 안전성을 충분히 고려한 설계가 이루어져야 함
- 또한 연료전지 스택, 가습기 등은 직육면체 모양의 강체로써 충돌시 운전자나 승객의 안전에 직접적인 영향을 줄 수 있음
- 연료전지 자동차의 안전관련 법규는 수소 시스템의 안전성과 연료전지 자동차의 고전압 전기 시스템의 안전성, 충돌시 자동차 안전성 등으로 활발히 진행되고 있으며, 전자파 안전성 분야도 별도로 연구가 진행되고 있음
- 각 제작사별 연료전지자동차 개발 및 실용화 동향 파악

회사	연료전지차	생산계획 [▼ 시범운행, ◆ 소량생산, ★ 양산]									현 황
		'02	'04	'06	'08	'10	'12	'14	'16		
혼다							◆		★	2002.12 리스판매 (美, 日) 2008년 FCX Concept 신규 리스 예정 ✓ 2012년 생산목표, '18년 대량양산 예정	
도요타							◆			2002.12 리스판매 (美, 日) 2010년대 초반 1,000대/년 2015년 50,000대/년	
GM				▼			◆			- 약 20여대 운행 중 ✓ 2007년 EQUINOX 100대 보급 예정 2020년 수십만대 생산	
DCX				▼			◆		★	100 여대 운행 중 (美, 日, 유럽, 싱가포르) ✓ 2012년 일반에게 연료전지차 판매 목표 ✓ 2015년 5만대 규모 양산 계획	
포드				▼					★	30여대 운행 중 (美, 캐나다) - 승용/SUV로 차종 이분화 2015 양산 준비 중	
현대				▼			◆◆		★	2004.12, 美 DOE 시범운행 참여 (32대) - 국내 시증사업 착수 (2006.08 ~) ✓ 2010년 10,000 대/년 생산기술확보	

<그림 42> 주요 제작사별 연료전지 자동차 개발 및 연구동향

.. 외국의 연료전지 자동차 실용화 계획 현황

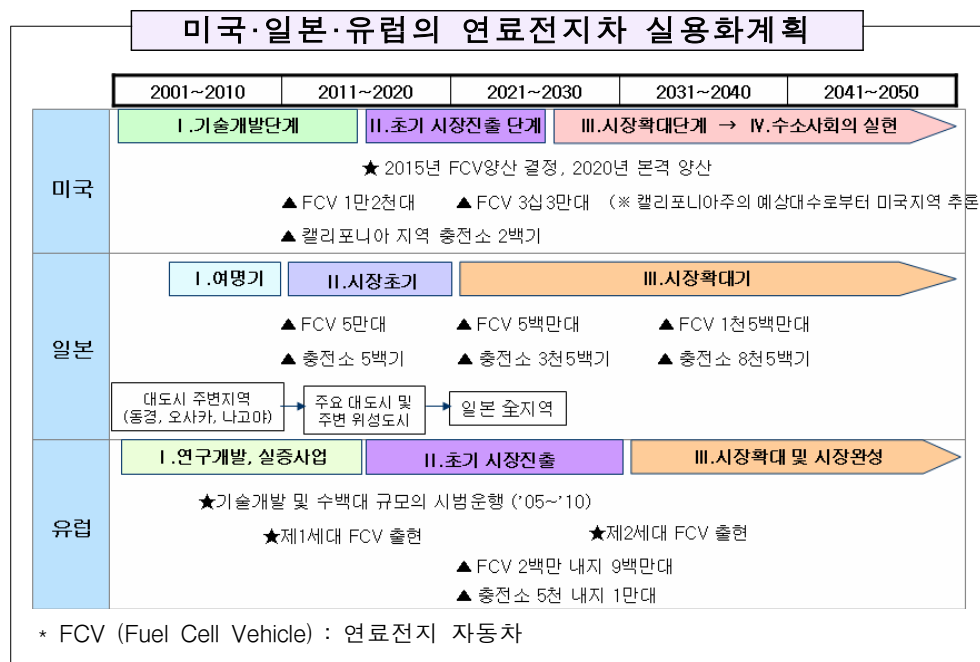
: 각국 정부는 연료전지 기술개발에 대하여 미래의 산업분야를 개발한다는 개념으로 산업계 및 학계와 연계하여 막대한 연구개발비를 지원하고 있으며, 연료전지 자동차의 실용화 계획을 진행하고 있음

: 미국의 경우, DOE(에너지성)를 중심으로 Freedom Fuel('03~'15 : 12억달러), Freedom Car('02~'10 : 5억달러), 일본의 경우 경제산업성 주관으로 JHFC 프로젝트를 진행하고 있음

: 또한 EU의 경우에는 FP6 과제를 통해 2002~2006년까지 175억유로를 투자할 계획이고, 중국의 경우에도 조기의 집중적인 투자를 통한 기술개발을 위해 863 프로젝트를 통해 연료전지 관련분야에 연간 1,400억원을 투자하고 있는 실정임

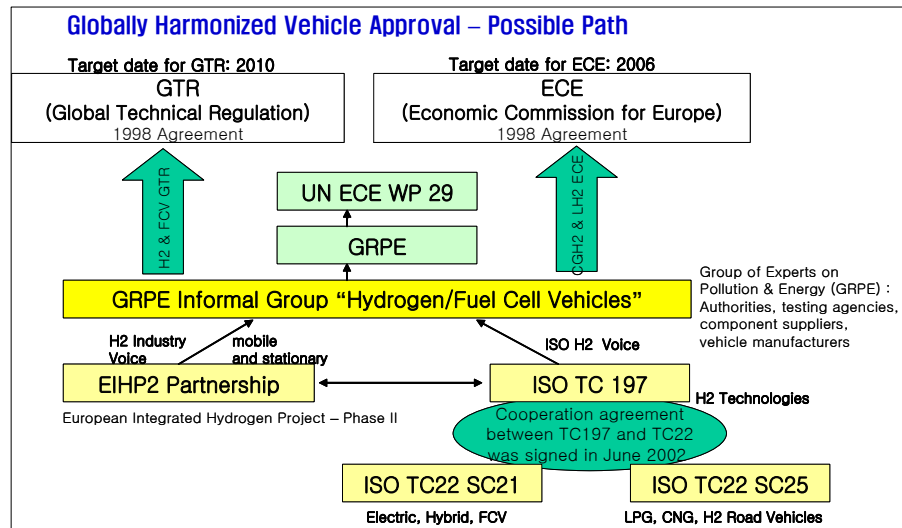
: 또한 자동차 산업계에서는 이와는 별도로 막대한 자체 연구개발비를 투자하고 있으며, 이러한 개발비 부담을 줄이기 위하여 전략적 제휴관계에 있는 회사들 간의 공동개발 형태로도 연료전지 관련기술 개발을 진행하고 있음

: 이러한 실용화 사업의 목적은 관련 기술의 표준을 선점하기 위한 것으로 자동차 이외의 관련 산업분야와 연계하여 진행되고 있음



<그림 43> 미국, 일본, 유럽의 연료전지차 실용화계획

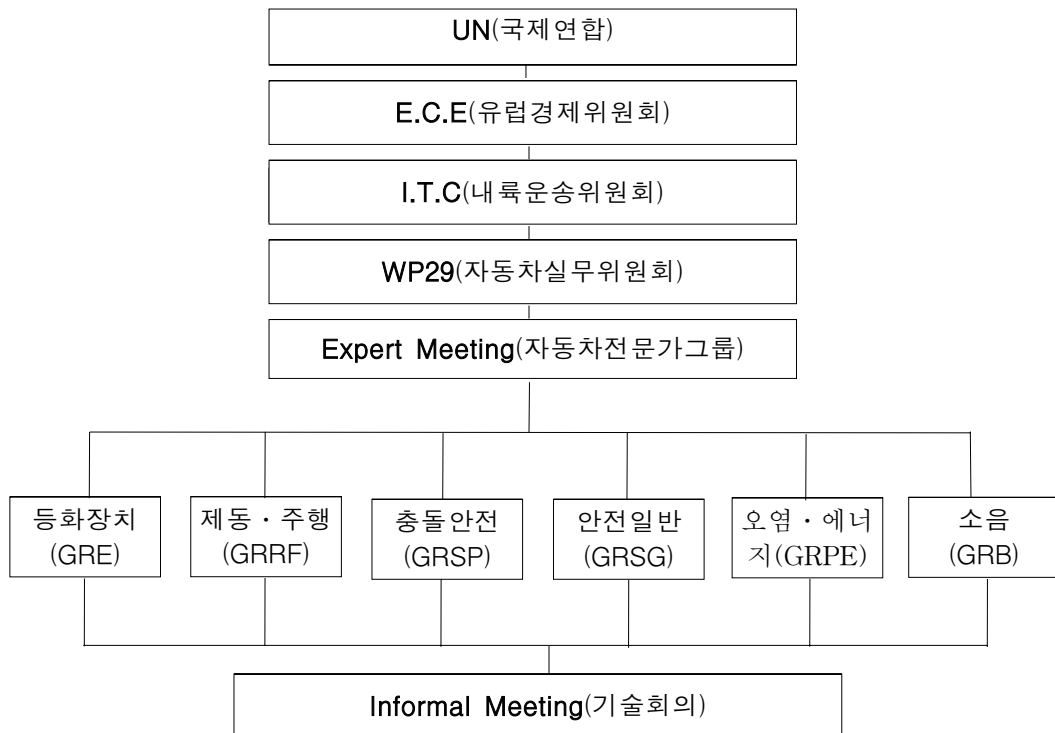
- 수소·연료전지 자동차의 안전기준 국제조화를 위한 WP.29 등 국제회의 대응
- 수소·연료전지 자동차와 그 구성품에 대한 표준규격과 안전기준은 국내는 물론 선진국에서도 아직 정립되지 않았음
- 기존 내연기관 자동차 및 전기자동차에 관한 표준규격과 안전기준은 일부 있으나, 연료전지 자동차의 구조, 특성 등이 기존의 내연기관 자동차 및 전기자동차와 매우 다르므로 이를 고려한 표준규격 및 안전기준의 제정이 필요한 시점임
- 표준규격 및 안전기준 제정에 있어서는 정부, 관련 자동차 생산업체 및 관련 부품업체, 학계, 연구소 등 관련자들의 의견을 종합적으로 수렴하는 것이 필요하며, 안전기준 및 안전성평가 기술설정 등에 관해서는 국제적인 규격 제정과 보조를 맞출 필요성이 있음



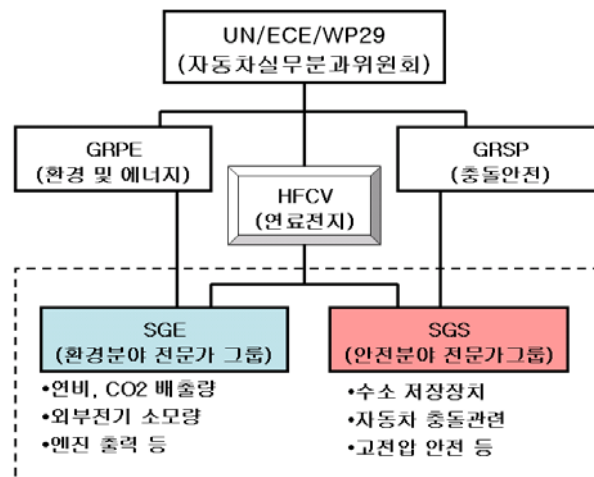
<그림 44> 국제 규격 제정 경로

- UN/ECE/WP.29의 수소·연료전지 전문가 그룹 회의
 - : UN/ECE WP.29(World Forum for the Harmonization of Vehicle Regulations)는 국제연합 유럽경제위원회(UN/ECE)의 산하기구로서 1952년에 설립(스위스 제네바)되었으며, 자동차안전기준 국제화 및 상호인정에 관한 “1958협정”, 안전기준의 통일화 추진을 위한 “1998협정” 운영하고 있음
 - : 124개의 안전기준을 제정하여 유럽연합(EU) 뿐만 아니라 우리나라, 일본, 호주 등 비유럽국가도 많은 규정을 적용하고 있어 자동차안전기준의 국제협의기구로 위상 확립되어 있음
 - : WP 29는 6개의 전문가 그룹(Expert Meeting)으로 구성
 - 등화장치 분야(GRE) · 제동 · 주행장치 분야(GRRF)
 - 오염·에너지 분야(GRPE) · 충돌·충격 안전 분야(GRSP)
 - 일반 안전 분야(GRSG) · 소음 분야(GRB)
 - : 6개의 전문가 그룹은 스위스 제네바에서 분야별 연 2회 정기회의의 진행하고 있으며, 각국의 분야별 전문가 및 자동차관련 국제단체로 구성되어 국제 안전기준 제·개정 실무회의를 하고 있음
 - : 또한 각 전문가 그룹별로 기술회의(Informal Meeting)을 운영하고 있으며, 전문가 그룹 활동 중 심도 있는 검토가 필요한 사안에 대하여 전문가그룹 산하에 구성되어 필요시 비정기적으로 개최되고 있음

<표 39> UN/ECE/WP.29 조직



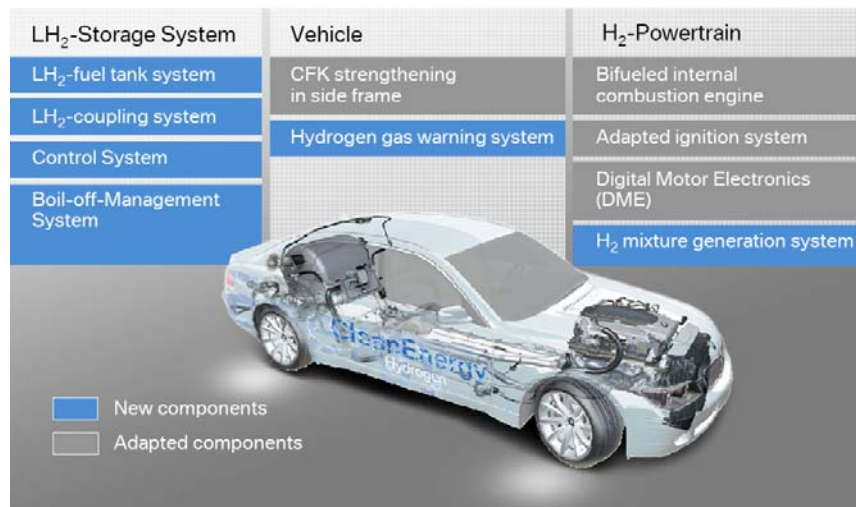
: 현재 UN/ECE WP.29(자동차실무분과위원회)에서 연료전지 자동차 전문가그룹(HFCV)이 만들어져 안전도 향상을 위한 기준 뿐만 아니라 성능관련 세계기술규정제정(GTR)을 위한 연구가 진행 중임



<그림. 45> UN/ECE/WP29의 연료전지자동차 전문가그룹 조직도

- 자동차 충돌에 의한 대형사고 분석
- 수소연료장치의 화재 또는 폭발에 대한 안전성을 평가하기 위하여 대형 충돌사고 및 화재사고를 조사하여 분석

- .. 차종별, 차령 등에 따른 화재 분석
- 수소 및 수소혼합 연료 자동차 안전관련 법규 동향 및 연구방향 분석
 - .. 수소 내연기관 동력시스템은 앞으로 다가올 수소 연료시대에 중대형 화물자동차에 대한 대안으로서 기초적인 연구는 학계에서 진행되고 있으나, 실용화를 위한 연구는 초보적인 단계로서 수소, 수소-천연가스 혼합 연료의 전용 엔진의 개발 등이 진행되고 있음
 - .. 승용자동차에 대한 수소-가솔린 By-Fuel 방식은 현재 BMW에서 700 시리즈에, 마쓰다에서 RX-8 시리즈에 개발하여 탑재하고 있으며, 특히 BMW 수소-가솔린 자동차는 액화수소를 사용하는 방식으로 개발되어 있음
 - .. 또한 이들 수소-가솔린 자동차는 실용화 사업에 투입되어 시범운행을 하고 하고 있으며, 수소 전소 및 수소-천연가스 혼합연료 동력시스템에 대한 연구는 Cummins Westport, Indian Oil Corporation, Fort Collins, 중국(CAHE, CEEDI, STRI) 에서 활발히 진행하고 있음
 - .. 수소-천연가스 혼합연료 시스템은 천연가스에 수소를 일정량 첨가할 경우 배출가스 및 출력이 개선되고 있음
 - .. 이는 현재의 천연가스 연소의 문제점인 지연된 화염전파속도를 수소 연료를 첨가함에 따라 화염전파속도를 촉진시켜 미연 탄화수소를 감소시키고 열효율도 향상시킬 수 있음
 - .. 이와 같이 수소와 천연가스 연료의 각각의 장점을 활용하는 동력시스템을 개발할 경우 무공해엔진에 근접하는 초저공해 동력시스템을 활용하여 자동차용 동력원뿐만 아니라 산업용 발전기 등 활용도가 큼
 - .. 수소-천연가스 혼합연료 동력시스템은 천연가스 연료 기술에 수소를 첨가시키는 방식으로 천연가스 엔진 개발시 확립된 기존 엔진 개발 기술과 연료공급체계를 활용할 수 있으므로 차세대 동력시스템의 보급을 위한 사회 경제적 인프라 구축이 용이하여 비교적 단기간내 기술 개발이 추진될 수 있음
- 각 제작사별 수소 및 수소혼합 연료 자동차 개발 및 연구 동향
 - .. BMW는 액체수소 이용기술과 고성능 인젝터 실용화 방안 연구 중이며 2006년 11월 액체수소와 휘발유를 겸용(Bi Fuel)으로 하는 Hydrogen 7 수소자동차를 베를린에서 공개함



<그림 46> 수소내연기관자동차 관련 개발 장치

- .. Ford 자동차는 수소연소 엔진과 하이브리드 전자식 트랜스미션을 장착한 Model U를 2003년 디트로이트 모터쇼에서 공개함
- .. 미국의 경우 에너지성(DOE)에서 순수 수소엔진(HICE)자동차의 실증사업 을 수행함
- .. 일본 Mazda의 경우 최근 올해초부터 자사의 최신 수소연료 로터리엔진 자동차인 'RX-8'를 개발하여 임대를 하고 있는데, RX-8 수소자동차는 운전자가 가솔린과 수소연료를 동시에 주입하더라도 전환주행이 가능한 이중 연료시스템을 특징으로 하고 있음
- .. 그 외에 캐나다, 이탈리아, 인도 등 엔진형식, 수소공급방식, 수소저장방식에 있어서 다양한 시도가 이루어지고 있음
- 수소 및 수소혼합연료 동력시스템 분석
 - .. 자동차 연료로서 수소는 무공해와 대체연료의 관점에서 미래의 에너지원으로 많은 연구가 되고 있음
 - .. 수소를 사용하는 수소 연료전지 자동차는 주로 승용자동차와 대형 승합자동차(버스)를 대상으로 개발 또는 실용화가 되고 있으며, 화물자동차, 특히 대형 화물자동차에 대한 대안으로 부각되지 않고 있음
 - .. 수소 내연기관 자동차는 현재 BMW, 마쓰다 자동차에서 승용자동차 Bi-Fuel 시스템으로 실용화하고 있으나, 대형 엔진에 대한 수소를 이용한 신동력 시스템은 여러 가지 방식으로 현재 연구가 진행되고 있음
 - .. 수소를 이용한 고효율 저공해 신동력 시스템은 2010년경에 상용화를 목표로 연구개발이 수행되고 있으며, 출력, 안전, 효율 향상을 위한 연소실

내 직접분사방식, 역화방지기술, 출력향상기술, NOx 저감기술 등의 연구가 더욱 가속화될 것이며, 수소는 발전용, 산업용 또는 자동차용 동력원으로써 활용이 가능한 유망한 동력시스템으로 평가되고 있기 때문에 미래기술로 개발이 지속적으로 추진될 것임

- .. 수소를 이용한 내연기관 자동차에 대한 안전성평가 기술개발은 수소·연료전지와는 연료공급계통에서 동일한 개념이나 연료전지 스택이 아닌 내연기관을 동력원으로 사용한다는 것이 다르므로, 기존 내연기관과는 다른 관점에서 검토되어야 하며, 특히 수소를 연료로 사용하여 연소하는 방식에 대한 각별한 평가기술 확립이 수반되어야 함
- 수소·연료전지자동차 안전관리, 구난체계 및 폐기방안 선행연구
 - 수소·연료전지자동차 안전관리를 위한 교육·홍보자료 기초연구
 - .. 미래의 대체에너지로서 수소 에너지의 사용은 필연적이나 폭발성과 가연성 때문에 가솔린과 디젤 사용때와는 다른 위험성을 인식하여야 함
 - .. 가솔린, 디젤과는 다르게 수소는 매우 신중하게 취급되어야 함
 - .. 수소는 매우 가볍고 빨리 확산되며 뜨겁고, 연기 없이 타오르는, 위로향하는 불꽃의 연소 과정을 생성함
 - .. 광범위한 범위를 통하여 점화하고 유지되도록 하기위해서 상대적으로 적은 에너지를 요구하는 공기/수소 혼합물에서, 수소의 사용은 특별한 예방사항이 취급되어야 함
 - .. 특히 밀폐된 방이나 공간 차고, 선착장과 터널 같은 곳임
 - .. 화학 산업과 공업과정에서 수십 년의 수소 취급경험은 수소가 안전하고 믿을 수 있게 취급될 수 있다는 것을 보여주지만, 현재 수소를 다루는 사람은 전문가 또는 특별히 훈련은 받은 사람이며, 수소를 연료로 사용하는 자동차가 일반적인 거리, 다른 인구가 많은 곳에서 사용하면 수소 취급은 일반적인 자동차 사용자, 그 외 정비업자, 충전소 등에서 하게 될 것임.
 - .. 수소를 사용하는 인구가 늘어나면 일반적인 국민들은 그것에 알맞게 교육받고 훈련받아야 하며, 오늘날 모든 자동차 사용자들이 가솔린, 디젤의 안전한 사용에 관한 기본 절차를 잘 인지하는 것처럼 수소의 기본상태에 대하여 교육되어야 함
 - 비정상 운행시의 수소연료 자동차의 안전확보 매뉴얼 기초연구
 - .. 수소·연료전지 자동차는 기존 내연기관 자동차와는 달리 고압의 수소가

스 노출 위험성과 고전압의 노출 위험성이 내재되어 있음

- .. 특히 정상적인 상태가 아닌 사고시, 고장 발생시 등 비정상적인 상태에서 이러한 수소 및 고전압에 의한 위험성을 높아 질 수밖에 없음
- .. 이를 위하여 비정상적인 상태에서 운전자 조치상황, 특히 충돌사고시 응급 구조자의 안전확보 대응 매뉴얼은 필수적으로 연구개발 되어야 함
- .. 수소·연료전지 자동차의 안전 라벨링은 자동차의 작동과 서비스와 관련하여 잠재적인 위험의 경고로서 사용되어야 하며, 라벨은 연료 고압용기 안에 연료의 타입의 비상 응답을 경고하기 위하여 자동차 외부에 적용되어야 함
- .. 연료전지의 전기적 고압 배선은 전기안전 규정에 따라 오렌지색을 이용하여 시각적으로 증명해야 함
- 수소·연료전지자동차의 폐기관련 환경부하 분석 및 인체 유해물질 기초연구
- .. 부존자원의 고갈, 지구온난화 가속 등으로 인해 환경규제가 점차 강화되고 있으며 자동차의 경우, 폐기단계에서 발생하는 환경부하를 저감하지 않으면 신차를 판매할 수 없도록 하는 강력한 법규제가 발효되고 있음
- .. 자동차업계에서는 신차 설계단계에서 차량의 환경부하를 최소화하고 폐기단계에서 발생하는 자동차의 유효한 자원화 및 친환경적 처리를 요구하고 있고 만약 법규제를 대응하지 못할 경우, 신차의 판매에도 막대한 영향을 미치지만 폐기단계에서의 친환경적 처리기술의 미확보시에도 경제적 피해는 피할 수 없는 상황임
- .. 유럽, 일본을 중심으로 자동차의 폐기시 소요되는 비용을 절감하기 위해 자동차의 친환경적 처리를 위한 해체, 유류제거설비와 같은 처리시스템을 개발하고 있으며 해체된 부품의 재활용 기술과 인프라를 구축하여 고객에게 친환경성을 마케팅 전략으로 연계하여 사업전략을 추진하고 있음
- : 도요타 자동차의 경우, 친환경 하이브리드 자동차를 출시하였으며 폐기 단계에서도 친환경성을 부여하기 위한 자사 차량 및 부품의 자발적 회수와 재활용, 환경물류의 도입을 추진하고 있음
- .. 수소·연료전지 자동차의 경우도 개발단계에서부터 폐기관리를 고려하여 수행함으로써 폐기단계에서도 환경부하를 최소화하도록 유도되어야 함
- : 특히 자동차 제작사가 단순히 규제만을 대응하는 차원의 기술보다는 규제를 선도하는 기술로 한 단계 발전시켜 오히려 새로운 사업으로의 진출

기회를 창출하고 비용을 수익으로 반전시키는 좋은 기회의 시장으로서
부각시킬 필요성도 있음

< 표 40 > 기술수준 및 인프라수준

기 술 명	기술수준 (선진국 대 비,%)	전문인력 보유 정도(%)	인프라 구축 (%)
외국의 연료전지 자동차 안전관련 법규 동향 및 연구방향 분석	70	65	-
각 제작사별 연료전지자동차 개발 및 실용화 동향 파악	85	70	-
수소·연료전지 자동차의 안전기준 국제조화를 위한 WP.29 등 국제회 의 대응	90	80	-
자동차 충돌에 의한 대형사고 분석	60	50	-
수소 및 수소혼합 연료 자동차 안전 관련 법규 동향 및 연구방향 분석	70	65	-
각 제작사별 수소 및 수소혼합 연료 자동차 개발 및 실용화 동향	80	70	-
수소 및 수소혼합연료 동력시스템 분석	75	60	-
수소·연료전지자동차 안전관리를 위한 교육·홍보자료 기초연구	40	50	-
비정상 운행시의 수소연료 자동차 의 안전확보 매뉴얼 기초연구	40	50	-
수소·연료전지자동차의 폐기관련 환 경부하 분석 및 인체 유해물질 기초 연구	50	70	-

○ 추진전략 및 추진방법

- 추진전략

- 관·산·학·연 등 관련 기관들과 유기적인 협력체계 구축을 통하여 완성
도 높은 안전관련 법규 및 연구, 실용화 사업 기초자료 및 통계수치를 확보
함
- 해외자료의 경우 제작사 및 WP29, 해외 각 연구기관과 해당지역 출장 등을
통하여 보다 정확한 자료를 수집 및 분석함

- 추진방법 및 추진체계

- 본 과제의 수행을 위하여 주관연구기관을 중심으로 협동기관(산업체), 위

탁기관(대학)등이 참여함

- 필요시 전문분야별 전문기관 혹은 전문가에 위탁연구를 수행하여 업무추진 효율 극대화함

○ 과제 중복성 점검

- 현재 미래형자동차사업단의 연구개발 과제는 연료전지, 운전장치, 보조시스템에 대한 개발을, 수소연료전지사업단의 연구개발 과제는 수소 생산, 연료전지 개발, 모니터링 사업, 수소저장장치 개발을 진행하고 있으며, 타부처 및 타사업단에서 진행하고 있는 이러한 과제들과 수소·연료전지 자동차의 제도/정책 연구분야의 연구내용에 대한 과제 중복성은 없음

○ 최종성과물 및 활용방안

- 본 분야의 최종성과물은 아래와 같음
 - 외국의 수소·연료전지자동차관련 안전기준 및 표준화 분석 보고서
 - 외국의 연료전지 및 수소연료 자동차의 개발동향 보고서
 - 외국의 연료전지 및 수소연료 자동차의 실용화 사업 분석서
 - 자동차 충돌에 의한 대형 사고분석 보고서
 - UN ECE WP 29 전문가 그룹 및 Informal 회의 대응 보고서
 - 선행연구 보고서 : 교육 및 홍보, 안전확보 매뉴얼, 폐차 및 재사용관련
- 최종성과물은 수소·연료전지자동차에 대한 국제수준의 안전기준 및 법규제정을 위한 기초자료로 활용되며, 다른 분야의 연구결과를 UN ECE WP 29 활동을 통하여 국제안전기준(GTR) 제정시 아국의 입장을 반영하는데 활용될 것임

2) 연구분야(2) : 수소·연료전지 자동차의 수소안전성 기술 연구

○ 기술개발 목표

- 차량용 수소 저장 및 공급 시스템의 안전성 확립을 위한 평가기술 개발
 - 수소시스템의 충돌, 화재 및 진동시험 안전성 평가
 - 고압 수소저장시스템 안전설계기준 수립에 필요한 평가기술 개발
 - 수소센서 및 누설감지 시스템의 차량 적합성 평가
 - 차량용 수소탱크 안전장치의 안전성 평가
- 수소를 연료로 사용하는 자동차의 충전시 안전성 평가기술 개발

- 수소충전시 자동차와 충전소의 누설 및 접지/스파크 안전성 평가기술 개발
- 수소연료 충전시 충전장치 및 연료저장시스템 거동 분석
- 자동차와 수소충전 시스템 사이의 수소 누설 연구
- 자동차와 수소충전소의 정적인 스파크 평가기술
- 수소 충전시 수소자동차 안전확보를 위한 충전소 규격 개발

○ 주요연구내용

- 수소시스템의 충돌, 화재 및 진동시험 안전성 평가
 - 시험 방법 Protocol 개발
 - FMVSS 304 Test Procedure의 수소시스템 적합성 연구
- 고압 수소저장시스템 안전 설계 기준 수립에 필요한 평가
 - 고압 수소저장시스템의 차량 장착시 진동내구 안전성 평가
 - Modified FMVSS 304 Test Procedure에 따른 시험 평가
 - 수소탱크 및 안전장치의 화재 안전성 평가를 위한 설비 구축
- 수소센서 및 누설감지 시스템의 차량 적합성 평가
 - 차량내 수소센서 설치 위치 및 감지 범위 연구
 - 수소센서 성능 및 신뢰성 평가 시험 항목 및 평가 방안 연구
 - 시스템내 수소 누설시 위험 감소 방안 연구
- 차량용 수소탱크 안전장치의 안전성 평가
 - 수소탱크 안전장치 벤트 방향에 따른 안전성 평가
 - 국부적 화재시 수소탱크 안전장치 작동성 평가 및 탱크내 압력 거동 평가
 - 수소탱크 안전장치 Type별 안전성 평가
 - 수소탱크 안전장치 오리피스 구경에 따른 수소 방출 거동 평가
- 수소 누설 형태 및 조건에 대한 분석
 - 수소 누설로 인한 차량 사고 모델링
 - 밀폐된 공간(주차장, 터널, 창고 등)에서 수소 누설 모델링
- 차량용 수소저장용기 및 공급배관 안전성 평가
 - 수소시스템 충격 손상 안전성 평가
 - 수소시스템의 주행시 장애물 노출에 따른 안전성 평가
 - 수소 저장 및 공급시스템에 대한 안전기준(안) 및 평가방법(안) 작성
- 수소연료 충전시 충전장치 및 연료저장시스템 거동 분석

- 차량내 충전시 연료저장시스템내 거동 분석 연구
- 충전소의 충전 알고리즘 분석 연구
- 자동차와 수소충전소의 정적인 스파크 평가기술
 - 자동차와 수소충전소의 최대허용 전기적 저항 연구
 - 충전압력별 연료 주입노즐과 수소충전소의 최대허용 전기적 저항 연구
- 수소연료 자동차의 안전충전 절차 개발
 - 수소충전시 원격 모니터링 Protocol 또는 Communication tool 평가
 - 비상사태 발생시 안전모드 평가
 - 충전시 자동차 탱크 가스온도/압력 예측 및 제어기술
 - 충전 Fail-safety mode 수립 및 평가

○ 기술수준 및 인프라수준

기 술 명	기술수준 (선진국 대비,%)	전문인력 보유 정도(%)	인프라 구축 (%)
수소시스템 평가기술	60	50	30
수소충전소 안전기술	70	50	20
차량/충전소 운전기술	70	60	20

○ 추진전략 및 추진방법

- 추진전략
 - 고압의 수소시스템을 장착한 차량이 충돌, 화재, 진동 등의 상황에 노출 되었을 경우를 모사하여 시험방법을 고안하고, 각각의 상태에서 수소 누설을 감지할 수 있는 수소센서의 위치를 선정
 - 모사된 상황에 대해서 안전에 미치는 영향을 조사하고 시스템을 안전하게 설계할 수 있는 기준을 제시
 - 수소를 충전하는 다양한 상황에서 수소를 안전하게 운전자가 원하는 만큼 충전할 수 있도록 안전기준을 개발
 - 차량과 충전소간의 통신 프로토콜을 규정할 수 있도록 실제 충전상황을 고려하여 평가
- 추진방법 및 추진체계

- 본 과제 of 수행을 위하여 산업체를 중심으로 협동기관(연구기관), 위탁기관(대학)등이 참여
- 필요시 전문분야별 전문기관 혹은 전문가에 위탁연구를 수행하여 업무추진 효율 극대화

○ 과제 중복성 점검

- 미래형자동차사업단의 연구개발 과제 중에서 “연료전지용 운전장치 시스템설계 및 평가기술개발” 의 개발 내용에 수소공급 및 재순환 시스템 설계 및 부품개발이 포함되어 있으나 수소공급시스템의 설계 및 단품 개발로 한정되어 있으며, 수소공급시스템에 대한 안전성 평가기술과 관련된 내용은 포함되어 있지 않음
- 수소연료전지사업단의 연구개발 과제는 수소 생산, 연료전지 개발, 모니터링 사업, 수소저장장치 개발을 진행하고 있으며, 수소스테이션의 건설 및 디스펜서 & 압축기 다이어프램 국산화 등으로 본 과제에서 연구할 수소충전시 연료전지 자동차와 수소충전소의 안전도를 확보할 수 있는 안전성 확보 기술 개발은 진행하지 않고 있음

○ 최종성과물 및 활용방안

- 본 분야의 최종성과물은 아래와 같음
 - 수소공급시스템 및 자동차의 충돌, 화재 및 진동시험 평가방안 확립
 - 자동차내 수소 센서 설치 및 성능, 신뢰성평가 방안 개발
 - 수소탱크 및 안전장치의 안전성평가 연구를 위한 시험설비 구축
 - 수소탱크 및 안전장치의 안전성평가 기술 개발
 - 고압수소 저장시스템 안전설계 기준 확보
 - 고압 충전시 수소의 충전거동 해석
 - 충전시 자동차와 충전소의 최대허용 저항 분석
 - 충전시 자동차 상태평가 및 예측기술 개발
 - 수소·연료전지자동차 충전시 안전절차 및 기준(안) 작성
 - 충전시 비상사태에 대한 안전모드 확립
 - 수소 저장장치 및 공급시스템에 대한 안전성 평가기술(안) 도출
 - 수소 저장장치 및 공급시스템에 대한 안전기준(안) 도출

- 본 분야의 최종성과물은 수소 저장 및 공급시스템과 충전시 자동차와 충전소의 안전성 확립을 위한 자료로 활용되며, 최종적으로 이러한 성과물들을 활용하여 수소 안전성 확보를 위한 자동차 안전기준(안) 및 평가기술(안)을 도출하는 것임
- 수소 저장 및 공급시스템에 대한 안전성 확보기술은 국내의 연료전지자동차 개발시 활용될 수 있으며, 국제적 수준의 수소안전성 평가기술의 확보는 국내 연료전지자동차 설계기술을 한단계 높일 수 있음
- 또한 본 연구분야에서 개발된 국내의 자동차안전기준(안) 및 평가기술(안)이 국제안전기준 및 표준화 제정시 아국의 입장을 적극적으로 반영할 수 있는 자료로 활용할 수 있음

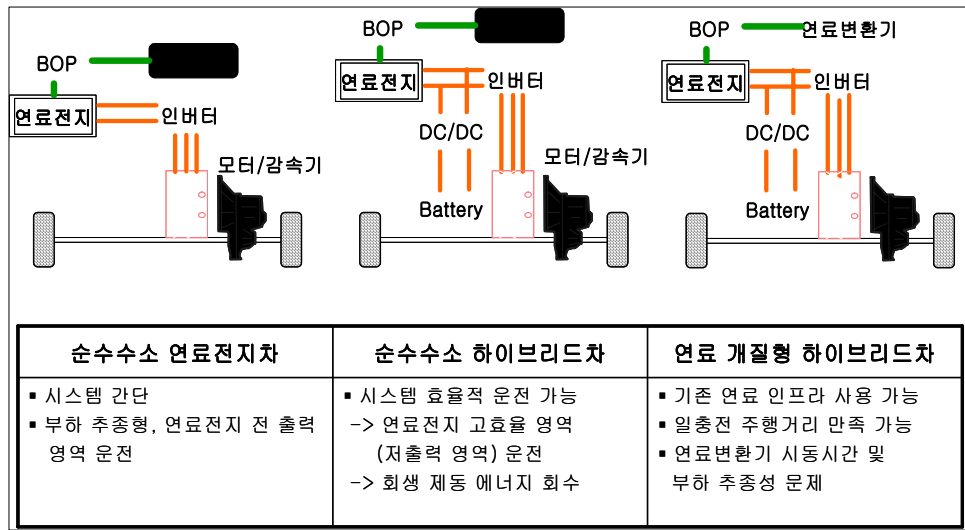
3) 연구분야(3) : 수소·연료전지 자동차 운행안전성 기술 연구

○ 기술개발 목표

- 수소·연료전지 자동차 안전기준 부합성 평가 연구
 - 수소·연료전지 자동차에 안전기준 적용성 분석
 - 수소·연료전지 자동차 연비 측정 방법 평가
 - 수소·연료전지 자동차의 안전기준 각 시험항목별 평가
 - 수소·연료전지 자동차의 신규 시험항목 발굴
- 연료전지자동차 FAIL-SAFETY 모드 안전성 평가 연구
 - 연료전지자동차의 잠재적 위험 요소 및 고장 요소 분석
 - 연료전지자동차 자기진단 기술 개발 및 이상 발생시 FAIL-SAFETY 모드 개발
 - FAIL-SAFETY 모드 안전성 확보 및 평가 기술 개발

○ 주요연구내용

- 수소·연료전지 자동차에 안전기준 적용성 분석
 - 수소·연료전지 자동차와 기존 내연기관 자동차와는 단순히 동력원만 차이가 나는 것이 아니라 시스템 또는 설계상 아래와 같은 뚜렷한 차이점들이 있으므로 이에 대한 자동차 안전기준의 부합성을 평가하고 고유의 평가 기술 개발이 수반되어야 함.



<그림 47> 수소·연료전지 자동차의 구분

- 수소·연료전지 자동차 연비 측정 방법 평가
 - 수소연료전지 자동차에서의 연비측정은 고압기체 연료의 특성상 주변환경, 온도, 압력 등에 따라 급변하므로 인하여 정확한 수소 소모량의 계측이 매우 난해하며, 연구되고 있는 측정방법은 아래와 같음
 - .. 압력 측정법 : 연비 시험시, 차량 외부에 설치된 수소공급탱크의 압력변화 측정
 - .. 무게 측정법 : 연비 시험시, 차량 외부에 설치된 수소공급탱크의 무게변화 측정
 - .. 유량 측정법 : 연비 시험시, 차량 외부로부터 차량에 공급되는 수소의 유량을 측정
 - .. 탱크 내부온도 측정법 : 연비 시험시, 차량 외부에 설치된 수소탱크의 내부온도 변화를 측정
 - .. 전류 측정법 : 차량 내에 설치된 전류센서로 스택에서 발생하는 전류를 측정
 - 현재 ISO에서 고압수소저장시스템을 사용하는 연료전지자동차 연비측정 문서가 DIS로 준비되고 있음
 - .. ISO 23828-1: Fuel cell road vehicles - Energy consumption measurement
 - Part 1: Vehicle fuelled with compressed gaseous hydrogen
 - 또한 액체수소를 사용하는 연료전지자동차에 대한 연비 시험방법은 기초적

인 연구를 하고 있는 단계임

- 수소·연료전지 자동차의 안전기준 각 시험항목별 평가

- 국내의 자동차관리법에 명기된 제작 자동차의 안전시험 항목은 총 42개 항목이며, 이들 중에서 수소·연료전지 자동차와 관련성이 있다고 여겨지는 안전시험 항목은 13개 항목이고, 기본적으로 이들 13개 항목에 대한 현행 안전기준 적용성을 분석하여야 하며, 13개 항목과 관련된 FMVSS, ECE R, 일본기준의 적용성 분석은 물론 이들 항목 이외에도 GTR 또는 ISO 등에서 규격/코드로 논의되고 있는 새로운 항목에 대한 심도깊은 기술 개발이 필수적임

[별표1] 제작 등을 하는 자동차의 안전시험기준 및 방법과 안전기준 확인방법

- | | |
|---------------------|--------------------------|
| 1. 충돌시 승객보호시험 | 22. 운전자의 시계범위시험 |
| 2. 충돌시 조향핸들 후방이동시험 | 23. 원동기출력시험 |
| 3. 충돌시 연료누출 방지시험 | 24. 시계확보장치시험 |
| 4. 충돌시 앞면유리 고정성시험 | 25. 가속제어장치 복귀능력시험 |
| 5. 충돌시 앞면유리 침입성시험 | 26. 소음방지장치시험 |
| 6. 좌석 및 그 잠금장치시험 | 27. 연료소비율시험 |
| 7. 머리지지대 강도시험 | 28. 승용자동차 제동능력시험 |
| 8. 문열림 방지장치 강도시험 | 29. 승합·화물 및 특수자동차 제동능력시험 |
| 9. 계기판넬 충격흡수시험 | 30. 피견인자동차 제동능력시험 |
| 10. 좌석등받이 충격흡수시험 | 31. ABS 설치 자동차 제동능력시험 |
| 12. 햇빛가리개 충격흡수시험 | 32. ABS 설치 피견인자동차 제동능력시험 |
| 13. 범퍼 충격흡수시험 | 33. 연결자동차 선회시 제동능력시험 |
| 14. 실내후사경 충격흡수시험 | 34. 타이어 파열시험 |
| 15. 조향장치 충격흡수시험 | 35. 조향성능시험 |
| 16. 옆문 강도시험 | 36. 최고속도제한장치시험 |
| 17. 천정 강도시험 | 37. 속도계시험 |
| 18. 좌석안전띠 부착장치 강도시험 | 38. 차실내장재 연소성시험 |
| 19. 견인장치 강도시험 | 39. 내부격실문 열림방지장치시험 |
| 20. 후부안전판 강도시험 | 40. 어린이보호용 좌석부착장치 강도시험 |
| 21. 등화장치 광도시험 | 41. 전자파장해방지장치시험 |
| | 42. 경음기 소음시험 |

- FMVSS 303 (Fuel System Integrity of compressed Natural Gas Vehicles) 과 FMVSS 304(Compressed Natural Gas Fuel container Integrity)는 CNG 연료에 대한 자동차 및 연료이송성능에 관하여 규정되어져 있음
- .. 이러한 안전기준에서 수소가 천연가스가 아니므로 수소연료자동차에 적용하지 않고 있으나, 그럼에도 불구하고 대부분의 수소·연료전지 자동차 제작업체는 CNG 자동차에 대한 규정인 FMVSS 303 and 304에 수소연료 자동차의 적용 가능성이 충분하다고 판단하고 있음
- .. 이들은 기존의 FMVSS 303과 304에 수소에 관한 조항을 추가하거나 수소에 관련된 새로운 FMVSS 조항을 신설하기를 원하고 있음
- FMVSS 305 (Electric-Powered Vehicles; Electryte Spillage & Electrical Shock Protection)는 수소동력자동차의 3번째 적용항목임
- .. FMVSS 303, 304와는 달리 FMVSS 305는 “48볼트 이상의 전기동력의 사용에 관한”등의 적용기준 항목을 명시한 규정에 이미 수소동력 자동차를 적용할 수 있도록 되어있으나, FMVSS 305조에 규정된 충돌후 500 Ω/V 전원차단의 요건이 수소연료 자동차에 대하여 그 필요성과 실효성이 충족되지 못하고 있음
- .. FMVSS 305는 배터리 전기동력 자동차에 관하여 명시된 SAE Recommended Practice J1766에 근거를 두고 있고, SAE Fuel Cell Safety Committee는 연료전지자동차를 규정하는데 대부분 SAE J1766을 개정하기로 하였음
- .. 연료전지의 양산은 많은 시일이 소요될 것이므로 우선 연료전지 자동차에 적용할 FMVSS 305조 기준을 제정하는 것이 선행되어야 하며, 연료전지 자동차에 상존해 있는 500 Ω/V 전원차단 기준에 관해서 논의되지는 않을 것이며 인체감전 전력수위에 대한 안전성 요구는 없음
- 수소·연료전지 자동차의 신규 시험항목 발굴
- 수소·연료전지 자동차의 고안전 차체 설계와 관련해서는 첫째, 수소저장시스템 및 연료전지 시스템 부위의 차량 충돌 해석을 통한 강도 및 안전성이 향상된 차체 프레임 설계, 둘째, 차량 충돌 센서 정보를 기반으로 수소저장 시스템을 비상 셧다운 시키는 전략, 셋째, 수소 누출감지 센서를 수소저장시스템 및 연료전지 스택 주위에 부착하여 실시간 누출감지 및 비상 대응 제어기법 등이 사용되고 있음

- 회생제동용 브레이크 기술은 현재 기존 제동페달 개도를 기반으로 모터 회전속도에 대응되는 최대토크를 비례적으로 계산하여 모터 인버터에 역토크를 지령하는 기법이 사용되고 있으며, 회생제동 및 기계식 브레이크의 복합사용에 따라 제동시 차량 안정성 저하가 야기될 수 있음
- 연료전지 자동차용 조향시스템은 현재 과거의 유압 구동형 대신 전기구동 타입이 광범위하게 사용되고 있음
- 연료전지 시스템의 Idle-Stop 제어기술 적용을 통하여 연비는 약 5% ~10% 향상될 수 있으며, 가압형/상압형 방식 및 연료전지시스템 구조에 따라 Idle-Stop 제어기술의 범위가 결정되고, 현재까지는 수소 환기시스템 등 특정 서브시스템에 Idle-Stop 기술이 적용되어 소모되는 에너지 일부 절감 및 진동/소음을 완화시키는 목적으로 사용되고 있음
- 대형충돌모드에서의 수소·연료전지 자동차 화재 안전성
 - 대형충돌사고 및 화재사고 분석결과를 토대로 정면, 측면, 후면충돌 및 전복 등 충돌유형별 대형충돌 모드를 설정하여 분석
- 연료전지자동차의 잠재적 위험 요소 및 고장 요소 분석
 - 수소연료전지 자동차의 구성은 주로 동력에너지를 발생시키는 연료전지시스템과 발생된 에너지를 사용하는 전기동력부품 등으로 구성되어 있음.
 - 연료전지시스템은 수소를 적절한 압력으로 공급하고 재순환시키는 수소공급시스템과 블로어를 이용하여 적절한 비율로 공기를 공급하고 가습을 시키는 공기공급시스템, 냉각수 펌프를 사용하여 연료전지스택을 냉각시키고 냉각수의 이온을 제거시키는 열관리시스템으로 구성됨
 - 전기동력부품은 연료전지스택의 고전압 전력을 직류에서 교류로 변환시키는 인버터, 교류에너지를 사용하여 구동하는 모터, 고전압에너지를 저전압으로 변환시키는 전력변환장치, 위험 발생시 전력을 차단하는 전력차단장치 등으로 구성되어 있고, 이 밖에 배터리, 슈퍼캐패시터 등의 보조 에너지 저장장치가 있음
 - 수소연료전지 자동차가 가속 및 제동시, 연료전지시스템 제어기는 시스템의 각종 센서로부터 신호를 받고 시스템 제어로직에 따라 시스템 운전 제어를 수행하여 에너지를 발생시킴
 - 동력분배 제어기는 차량구동에 필요한 에너지를 모터에 공급하기 위해서

연료전지시스템 및 슈퍼캐패시터의 에너지 공급 흐름을 제어하며 모터제어기는 모터의 구동 및 제동을 제어함

- 제어기는 공기공급, 수소공급/재순환, 열관리, 모터 제어 관련 고속, 대용량 연산 필요성에 의해 32bit 프로세스 사용이 일반적이며, 모델기반 제어기 설계 프로세스를 이용하여 펌웨어 및 상위 레벨의 제어로직 개발 및 임베디드 제어기 적용/검증 등을 수행하는 기법이 일부 자동차 회사들에서 시도되고 있음
- 연료전지자동차 자기진단 기술 및 이상 발생시 FAIL-SAFETY 모드 개발
 - 수소연료전지 자동차의 연료전지시스템 및 전력변환장치, 구동모터 등은 전기적인 로직 또는 회로 연결되어 있으므로 센서류 이상, 고전압단품이상, 통신이상, 충돌에 의한 차량 및 단품 손상, 고전압 및 저전압 와이어하니스 단락 발생시 운전자의 가감속 의지와 상관없이 자동차가 제어될 수 있고 예상되지 않은 시스템 특성이 표출될 수 있음
 - 따라서 위험요소별 시나리오 판별 및 감지를 통한 시스템 제어 대응 전략이 요구되며, 또한 자동차 제어계통 이상발생시 최소한의 성능을 유지하여 안전지역으로 이동 또는 정비공장까지 운행할수 있는 FAIL-SAFETY 모드에 대한 안전성 평가기술 개발을 기존 자동차의 FAIL-SAFETY 모드와는 차별화되어야 함
 - 제어계통의 위험요소 발생 가능성을 대비하여 전력차단장치는 메인 버스단의 PDU(Power Disconnecting Unit) 내부에 연료전지 파워차단 부품인 블록킹 다이오드, 메인릴레이, 고전압 절연감지보드, 고전압휴즈 등의 부품을 포함하고 있지만, 이 부품 또한 FAIL 발생될 수 있으므로 각 요소부품별 이상 현상 발생에 대한 시나리오 예측 및 제어 대응 전략이 요구됨
 - 연료전지시스템의 효율적인 제어를 위해 유량 / 온도 / 압력 / 전압 / 전류 센서들이 사용되고 있으며, 특히 수소 압력센서 / 수소 유량센서 / 각종 압력센서 / 전류센서 등은 시스템 안전 및 성능 진단을 위하여 필수적임
 - 분산제어기는 센서 및 액추에이터 모듈로 구분할 수 있으며, 기존의 기계식 와이어 대신에 CAN을 이용해 측정 및 제어 신호 전송이 이루어지고, 또한, FMEA(Failure Mode Effect Analysis) 관점에서, 안전에 직접적 영향이 있는 제어 부품은 분산제어기 적용과 더불어 와이어 신호가 이중으로 사용되는 등 CAN 오류 시에도 적절히 대처하도록 전장 설계가 추진되고 있음

- FAIL-SAFETY 모드 안전성 확보 및 평가 기술 개발

• 국내의 기술현황

국내 자동차 제작사들의 신기술 개발여건 악화로 인해 로직 등 차세대 기술의 개발 보다는 품질문제의 해결이 당면과제가 되어 선진 시스템 공급업체의 개발품을 구매하는 수준에 머물러 있는 것이 현실임

• 해외의 기술현황

.. 유럽 : 가장 활발하게 개발을 진행 중인 유럽 지역에서는 메카닉기술의 대체개념으로 EUCAR 프로젝트에 7개 회사 및 2개의 대학이 Consortium을 구성하여 개발함

.. 미국 : 북미 지역에는 GM이 Delphi와 함께 NAHSC (National Automated Highway System) 에 참여하여 개발을 진행 중이며, 1997년에 EV1 차량에 Fail-safety 기술을 적용함

.. 일본 : 일본 내의 개발동향은 시스템 차원의 Fail-safety 기술에 대한 개발 움직임이 가시화되고 있지 않으나 환경차량 개발을 기초로 한 전력소자기술개발에 본 기술을 적용한 모듈기술 개발에 있어 기술을 선도하고 있는 실정임

<표 41> 기술수준 및 인프라수준

기 술 명	기술수준 (선진국 대비,%)	전문인력 보유 정도(%)	인프라 구축 (%)
수소·연료전지 자동차에 안전기준 적용성 분석	60	75	-
수소·연료전지 자동차 연비 측정 방법 평가	50	65	-
수소·연료전지 자동차의 안전기준 각 시험항목별 평가	75	80	-
수소·연료전지 자동차의 신규 시험항목 발굴	45	80	-
연료전지자동차의 잠재적 위험 요소 및 고장 요소 분석	50	75	-
연료전지자동차 자기진단 기술 개발 및 이상 발생시 FAIL-SAFETY 모드 개발	60	75	-
FAIL-SAFETY 모드 안전성 확보 및 평가 기술 개발	65	65	-

○ 추진전략 및 추진방법

- 추진전략

- 연료전지 자동차 국내 제작사 기술 대응능력 향상과 관련 핵심기술을 축적하여 국제 기술경쟁력 확보
- 안전한 무공해 연료전지자동차 개발 및 제작을 통하여 국내 제작사의 세계적인 안전성 평가기술 확보
- 산·학·연 등 관련 기관들과 유기적인 협력체계 구축을 통하여 현재 개발 진행 중인 연료전지 자동차에 적용가능 하도록 협력체계 구축
- 이후 개발된 평가기술을 각종 평가지침 및 안전기준관련 법규(안)으로 도출하여 관련기술이 국가발전의 성장 동력으로 작용할 수 있는 기반을 조성함
- 또한 각종 기술평가 기준 및 관련 법규(안)를 마련하여 관련 부처에 건의함으로써 수소연료전지 자동차의 안전도 확보와 국가경쟁력 향상에 기여하고자 함

- 추진방법 및 추진체계

- 본 과제의 수행을 위하여 주관연구기관을 중심으로 협동기관(산업체), 위

탁기관(대학)등이 참여

- 필요시 전문분야별 전문기관 혹은 전문가에 위탁연구를 수행하여 업무추진 효율 극대화
- 관련 기술의 선행 경험에 있는 국내 연료전지자동차 개발업체와 협력관계를 구축하고 자료 및 지식공유 체계를 구축
- 최적화 시스템 기술 및 요소기술은 참여기업에 포함한 민간업체에 이전하여 상용화를 추진하고 관련 산업을 육성함으로써 국제경쟁력의 우위를 선점하여 국가경쟁력을 향상시킴
- 개발된 안전성 평가기술을 각종 지침 및 관련 법규(안)으로 도출하여 관련 기술이 국가발전의 성장 동력으로 작용할 수 있는 기반 조성

○ 과제 중복성 점검

- 현재 미래형자동차사업단의 연구개발 과제는 연료전지, 운전장치, 보조시스템에 대한 개발을 진행하고 있으며, 미래형자동차사업단에서 진행하고 있는 이러한 과제들과 수소·연료전지 자동차의 운행 안전성 평가기술 분야의 연구내용에 대한 과제 중복성은 없음
- 수소연료전지사업단의 연구개발 과제 중에서 “고분자 전해질 연료전지 성능평가 및 기술기준(안) 작성” 및 “수소·연료전지 안전성 연구”는 일반적인 연료전지에 대한 성능평가 및 안전성 연구를 주로 진행하고 있으며, 자동차의 안전법규인 안전기준과 FAIL-SAFETY에 대한 기술개발 내용은 포함되어 있지 않음

○ 최종성과물 및 활용방안

- 본 분야의 최종성과물은 아래와 같음
 - 수소연료전지 자동차 안전기준 로드맵 수립
 - 수소연료전지 자동차의 연비시험 방법 확립
 - 연료전지시스템의 잠재적 위험요소 분석 및 수립
 - 수소연료전지 자동차의 국내외 안전기준 부합성 시험 및 분석
 - · 충돌안전성, 전기 및 전자파 안전성 등
 - 연료전지자동차의 자기진단기술 개발
 - 연료전지자동차의 이상발생시 FAIL-SAFETY 모드 개발
 - 연료전지자동차의 이상발생시 최소 안전성 확보를 위한 전략 수립
 - 연료전지자동차의 FAIL-SAFETY 안전기준(안) 및 평가기술(안) 도출

- 수소연료전지 자동차 각 시험항목별 안전성 평가기술(안) 도출
- 수소연료전지 자동차 각 시험항목별 안전기준(안) 도출
- 수소연료전지 자동차의 신규 시험항목에 대한 로드맵 수립
- 본 분야의 최종성과물은 수소연료전지자동차의 주행안전성 확보를 위한 자료로 활용되며, 최종적으로 이러한 성과물들을 활용하여 주행 안전성 확보를 위한 자동차 안전기준(안) 및 평가기술(안)을 도출하는 것임
- 이러한 주행안전성 확보를 위한 평가기술 개발은 국내외 수소연료전지 자동차의 제작결함조사 등에 활용될 수 있으며, 특히 국내의 연료전지자동차 개발과 병행하여 안전성평가기술을 개발하여 개발되는 국내의 수소연료전지자동차의 전체적인 안전성을 국제적인 수준으로 확보할 수 있음
- 또한 본 연구분야에서 개발된 국내의 자동차안전기준(안) 및 평가기술(안)이 국제안전기준 및 표준화 제정시 아국의 입장을 적극적으로 반영할 수 있음

4) 연구분야(4) : 수소·연료전지 자동차 전기안전성 기술 연구

○ 기술개발 목표

- 연료전지 스택 및 고전압시스템 전기안전성 평가 분석 및 개발
- 연료전지 및 전기전자 시스템에 대한 전자파 안전성 평가기술 개발

○ 주요연구내용

- 연료전지 스택의 전기적 특성 분석 및 평가 방안 연구
 - 연료전지 스택 부품의 위험우선순위(RPN, Risk Priority Number) 선정
 - 연료전지 스택 부품에 관한 내한, 내열 및 전기적 특성 분석
 - 부품의 설계 및 특성을 고려한 위험우선순위 선정
 - 사고 사례 조사 및 패턴 분석
- 연료전지 스택의 사고 모델 설정 및 재현 실험
 - 절연 파괴에 의한 사고 위험성 분석
 - 전기적 접촉 불량에 따른 접촉저항 특성 분석
 - 접촉 불량에 따른 온도 상승 및 전기적 효율 특성 분석
 - 진동 내구 조건에서의 부품 간 전기적 접촉 특성 분석
 - 산화물 증식에 따른 전기적 연결 부위 사고 모의실험 및 분석

- 연료전지 스택의 전기 안전성 평가 방안 연구
 - 전기 안전 평가 대상, 항목 및 기준: 스택 부품의 전기안전평가 TDP개발
 - 배관, 인클로저, 마운팅을 통한 누설 전류 기준
 - 수밀 평가 기준
 - 수소 유출시, 전기 안전성 평가 기준
 - 화재 발생시, 연료전지 스택의 전기 안전성 평가 기준
 - 전압 인가 (역전압) 시, 스택 전기안전성 평가 기준
- 고전압시스템 전기적 특성 분석 및 평가 방안 연구
 - 전원분배 시스템, 커넥터 등 전기적 안정성 평가방안 연구
 - 배터리, 수퍼캡, 모터제어기, 모터 등 대전력 구동시스템의 전기적 안정성 평가방안 연구
 - 접지 및 격리에 대한 전기안전성 해석 및 평가
 - 충전시, 주행시, 충돌시 등 화재 및 감전에 대한 전기안전성 해석
- 고전압 시스템 전기안전성 평가기술 개발 및 검증 연구
 - 차체 및 부품의 접지/전기적 접촉의 안전성(효율성) 평가방안 개발
 - 연료전지시스템과 차량의 전기, 전자 구조물 사이의 전기적 격리기준(안)
 - 배터리, 모터제어기, 모터 등 대전력 구동시스템 안전성 확보방안 및 평가 기술 개발
 - 고전압시스템의 전기에 대한 감전 보호(안)
 - 고전압시스템 전기안전성 평가, 검증기술 및 안전기준(안)
- 고전압/고전류용 안전 배선 시스템 개발 및 안정성 평가기술개발
 - 고전압/고전류 배선 시스템 설계 기술 분석
 - 고전압/고전류 배선 시스템 개발 및 전기 안전성 평가
- 연료전지 자동차 및 전자제어시스템 전자파환경 특성분석
 - 연료전지 자동차 및 전자제어시스템 전자파특성 및 평가항목 분석
 - 수소연료전지 자동차에 대한 전자파 환경 특성분석 (필드 및 차량)
- 전자기장(방사 및 내성), 정전기, 전기적 과도 내성성능 평가기술 개발
 - 연료전지 및 첨단전자시스템에 대한 전자파 성능 평가 기술 연구
 - 과도전압 및 정전기 안정성 평가기술 연구
- 대전력 구동 시스템에 대한 저주파 평가기술 개발
 - IGBT, 모터, 컨버터 등 대전력 구동시스템에 대한 노이즈 분석 및 영향 연

구

- 저주파 노이즈에 대비한 대전력 구동시스템 개발 및 평가 기술 개발

<표 42> 기술수준 및 인프라수준

기 술 명	기술수준 (선진국 대비,%)	전문인력 보유 정도(%)	인프라 구축 (%)
연료전지스택 전기안전 평가기술	70	75	-
고전압부품 전기안전성 평가기술	80	80	
전자제어시스템 전자파환경 특성 분석	70	80	-
대전력 구동 시스템에 대한 저주파 평가기술	60	80	-

○ 추진전략 및 추진방법

- 추진전략

- 현 국내 제작 연료전지차량의 성능평가 및 보완을 통한 국내 제작사 기술 대응능력 향상과 관련 핵심기술을 축적하여 국제 기술경쟁력 확보
- 안전한 무공해 연료전지자동차 개발 및 제작을 통하여 국내 제작사의 세계적인 안전성 평가기술 확보
- 이후 개발된 평가기술을 각종 평가지침 및 안전기준관련 법규(안)으로 도출하여 관련기술이 국가발전의 성장 동력으로 작용할 수 있는 기반을 조성함
- 또한 각종 기술평가 기준 및 관련 법규(안)를 마련하여 관련 부처에 건의함으로써 수소연료전지 자동차의 안전도 확보와 국가경쟁력 향상에 기여하고자 함

- 추진방법 및 추진체계

- 관련 기술을 개발, 국산화 하고 있는 국내 연료전지자동차 개발업체를 중심으로하고, 전기 및 전자파관련 연구에 폭넓은 경험을 확보하고 있는 연구소를 협동기관으로 하여 추진
- 필요시 전문분야별 전문기관 혹은 전문가에 위탁연구를 수행하여 업무추진 효율 극대화
- 차세대 전문인력의 양성을 위하여 전문분야별 높은 기술력을 보유하고 있는 대학에 위탁연구 수행

- 개발된 안전성 평가기술을 각종 지침 및 관련 법규(안)으로 도출하여 관련 기술이 국가발전의 성장 동력으로 작용할 수 있는 기반 조성

○ 과제 중복성 점검

- 현재 미래형자동차사업단의 연구개발 과제는 연료전지, 운전장치, 보조시스템에 대한 개발을 진행하고 있으며, 미래형자동차사업단에서 진행하고 있는 이러한 과제들과 수소·연료전지 자동차의 전기안전성 평가기술 분야의 연구내용에 대한 과제 중복성은 없음
- 수소연료전지사업단의 연구개발 과제는 중에서 “5kW급 열병합 고체산화물 연료전지 발전시스템 개발”, “10kW급 상업용 고분자 전해질 연료전지 시스템 개발”, “버스용(200kW급) 고분자 연료전지시스템 개발”을 진행하고 있으며, 연료전지 스택 & 고전압시스템 및 전자파 안전성에 대한 안전성 평가 기술개발 내용은 포함되어 있지 않음

○ 최종성과물 및 활용방안

- 본 분야의 최종성과물은 아래와 같음
 - 연료전지 스택의 전기적 특성 분석 및 평가방안 수립
 - 수소연료전지 자동차 고전압시스템의 전기안전성 평가기술 개발
 - 수소연료전지 자동차의 전자제어시스템의 전자파 특성 분석
 - 연료전지의 절연파괴에 의한 위험성 분석 및 모의실험
 - 고전압/고전류용 안전 배선시스템의 안전성평가 기술 개발
 - 고전압/고전류용 안전 배선시스템 개발
 - 대전력 구동시스템의 저주파 노이즈 영향 분석
 - 수소연료전지 자동차 내부 스파크 및 정전기 평가방안 수립
 - 연료전지 및 전자제어시스템의 전자파 성능 평가 기술 개발
 - 수소 누출, 화재발생, 역전압발생시 등 안전성 평가기술 개발
 - 수소연료전지 자동차 전기안전성 확보를 위한 안전기준(안) 도출
 - 과도전압 및 정전기 안전성 평가기술(안) 도출
- 본 분야의 최종성과물은 수소연료전지자동차의 고전압 및 전자파 안전성 확보를 위한 자료로 활용되며, 최종적으로 이러한 성과물들을 활용하여 고전압 및 전자파 안전성 확보를 위한 자동차 안전기준(안) 및 평가기술(안)을 도출하는 것임

- 고전압/고전류 시스템에 대한 안전배선 시스템에 대한 설계기술 확보를 통하여 국내에서 취약한 차량용 하드네스 및 커넥터에 대한 독자적인 설계 능력 확보 및 안전배선 시스템 개발하는 활용됨
- 이러한 전기안전성 확보를 위한 평가기술 개발은 국내외 수소연료전지 자동차의 제작결함조사 등에 활용될 수 있으며, 또한 본 연구분야에서 개발된 국내의 자동차안전기준(안) 및 평가기술(안)이 국제안전기준 및 표준화 제정시 아국의 입장을 적극적으로 반영할 수 있음

8. 소요예산 추정

가. 전체 사업 소요예산

<표 43> 총괄소요예산

단위 : (백만원)

년도	정부출연금	기업부담금	계
1차년도(2007)	1500	350	1,850
2차년도(2008)	2,900	850	3,750
3차년도(2009)	5,050	1,400	6,450
4차년도(2010)	5,450	1,450	6,900
5차년도(2011)	3,900	1,550	5,450
합계	18,800	5,600	24,400

나. 연구분야별 소요예산

1) 연구분야-1 : 수소·연료전지 자동차의 제도/정책 연구

<표 44> 연구분야-1 소요예산

단위 : (백만원)

년도	정부출연금	기업부담금	계
1차년도(2007)	200		200
2차년도(2008)	200		200
3차년도(2009)	200		200
4차년도(2010)	300		300
5차년도(2011)	400		400
합계	1,300	0	1,300

9. 기대효과 및 전망

가. 기대효과

□ 기술적 측면

- 무공해 자동차의 대표적인 형태로는 동력원으로 모터와 축전지를 이용한 전기자동차, 수소를 동력원으로 이용한 수소자동차 그리고 태양열을 동력원으로 이용한 태양열자동차 등이 있으며, 기술 및 상업적 측면에서 상대적으로 높은 가능성으로 인하여 오랜 기간 동안 전기자동차의 개발이 진행되어 왔으나, 많은 노력에도 불구하고 축전기 기술의 한계로 인하여 전기자동차의 상업화 시점은 매우 불투명하게 보임
- 축전기 기술의 한계로 인하여 전기자동차의 상업화 시기가 지연됨에 따른 대체 방안의 하나로 하이브리드 자동차(Hybrid Electric Vehicle)의 개발이 본격화되었고, 하이브리드 자동차는 그 동안 발전되어 온 내연기관 자동차의 기술과 전기자동차의 기술을 적절히 조합한 차량 형태로 연비의 향상과 배기가스의 절감이라는 이익을 얻을 수 있으나 유해 배기가스의 발생문제는 여전히 지니고 있음
- 연료전지를 자동차 주동력원으로 채택할 경우 이러한 문제점을 해결할 뿐만 아니라 연료의 이용효율이 36 ~ 50%로 내연기관의 20%에 비하여 매우 높아 온실가스 배출량 저감을 위한 현실적인 기술로 평가되고 있어 궁극적으로 미래형자동차는 연료전지자동차가 주류를 이룰 것으로 예상됨
- 기존의 자동차 동력원인 내연기관에 비해 고효율, 저공해의 특성을 지닌 연료전지라는 새로운 개념의 대체 동력기관으로 바뀔에 따라 환경문제에 대한 능동적 대응능력 확보 및 수소를 사용하는 대체에너지기술 확보라는 측면에서 에너지 기술의 획기적인 전기가 마련될 것임
- 21세기 선진 자동차업체는 내연기관 자동차의 다툼이라는 경쟁의 테두리에서 환경대응 기술경쟁으로 옮겨가는 추세에 부응하여 국내 산학연 기관들이 안전성관련 기술의 주요 핵심기술을 개발하여 확보했을 경우 향후 선진국의 기술 독점으로 인한 기술종속 정책에 효과적으로 대처할 수 있음
- 연료전지 자동차 개발시 요구되는 연료전지 스택 개발, 연료전지 주변장치의 해석 및 개발, 연료전지 운전 및 제어시스템의 개발, 연료전지자동차의 차량

시스템 및 제어기술의 개발을 통하여 이 분야에서 이미 많은 기술을 확보한 선진국에 경쟁 가능한 연료전지 자동차를 개발할 수 있는 기반을 조성할 수 있음

- 연료전지 자동차는 기존의 전기, 기계 분야 뿐만 아니라 핵심부품인 연료전지를 위한 소재 기술 및 신규 공정기술이 발달하게 될 것으로 시너지 효과가 크므로 향후 우리나라의 산업쇄신을 가속화 할 것임

□ 사회·경제적 측면

- 자동차는 생활에 편리함을 주는 필수품이기도 하지만, 도시와 같은 인구 밀집 지역에서는 배출가스에 의한 공기 오염, 주행 중 발생하는 소음과 같은 공해가 심각한 사회 문제로 나타나고 있음
- 최근 환경부는 자동차 배출가스로 인한 의료비 부담과 노동 상실 등 사회적 비용이 연간 무려 3조3천억원에 이른다고 추산했으나, 자동차 공해에 의한 사회적 손실 비용을 줄이고, 삶의 질 향상을 위해서는 고효율 고정정 자동차가 반드시 실용화되어야 함
- 연료전지자동차는 이러한 고효율 고정정 자동차들 중에서 가장 유망한 것으로 전망되고 있으며, 내연기관을 대체할 수 있는 에너지원이면서 환경에 미치는 영향이 적고, 에너지 효율이 높고 또한 소비자의 주행욕구에 부응할 수 있는 유일한 대안이라 할 수 있기 때문에 이에 대한 연구개발이 전세계적으로 활발하게 진행되고 있고, 따라서, 차량의 에너지발생원의 역할을 수행하는 연료전지스택 기술의 개발은 각종 환경문제와 대체 에너지 자원 확보를 위한 기술개발에 있어서 수송용 분야에서 가장 큰 성장잠재력 및 파급효과를 가진 기술이므로 향후 자동차 산업의 생존 및 경쟁력 확보를 위해 필수적으로 확보해야 하는 기술분야이며, 연료전지 스택의 안전성 평가기술 개발은 필수적임
- 사회적으로는 국내 전체 공해 발생량 중 약 49%를 차지하는 수송분야 공해 발생에 대한 획기적인 감소가 기대됨
- 가솔린자동차에 비해 2배 이상의 상대적으로 높은 에너지 효율을 갖는 연료전지자동차를 운용함에 의해 수송 분야에서의 커다란 에너지 절약 효과를 얻을 수 있음
- 지구환경보호라는 기치하에 선진국 주도로 진행되고 있는 Green Round에서

국제적 연비기준 달성, 무공해자동차 사용의 의무화, 및 CO2 배출량이 적은 연료사용 의무화 및 사용비율 확대와 같은 구체적 협약이 채택되는 것에 대비하여 국내산업 기반의 조기구축이 가능

□ 산업적 측면

- 선진 각국의 환경보호 정책에 따라 2005년 이후 무공해 자동차에 대한 수요가 급증할 것이며 2010년 미국 내 무공해 자동차 의무판매 대수의 50%를 연료전지자동차가 점유할 것으로 예상됨
- 우리나라 자동차 산업은 제조업의 10%를 차지하며 국내의 7대 수출 주력 산업 중 하나로 2000년 기준 수출액이 약 132억달러, 약 312만대의 자동차 생산으로 전세계 5위, 세계 시장점유율 5.2% 기록하였으며, 관련 부품 산업은 2000년 약 19.8조원 규모로 국내 부품 산업 전체의 4.8% 차지하며, 2010년 7.5%로 예상되고 있으며, 1인당 국민소득 \$20,000시대를 준비하기 위해서는 국가 경제에 대한 기여도가 큰 한국 자동차산업의 성장 발전이 필수적임
- 이러한 상황에서 수출의존도가 큰 자동차 산업분야에서는 현재 북미의 배기 가스 규제, CARB의 ZEV 의무 수출 및 유럽연합의 이산화탄소 규제 등에 대응할 수 있는 친환경 자동차 및 관련 핵심기술의 개발이 필수적이며, 자동차 수출시장으로 가장 높은 비중을 차지하고 있는 미국의 동향에 국내 자동차 산업은 크게 영향을 받지 않을 수 없고, 우리나라도 고효율 및 무공해 연료전지 기술을 확립하여 차세대 연료전지자동차용 동력원에 활용함으로써, 전세계적으로 진행되고 있는 기후변화협약을 통한 온실가스의 총량규제, 저공해 자동차 의무판매를 통한 자동차 배기가스의 규제 등에 대처할 수 있는 국가적 기술경쟁력을 확보할 필요가 있음
- 연료전지자동차 안전성 평가기술은 선진국으로부터 이전받기에는 어려운 상태이므로 장단기 계획에 의해 선진 기술의 확보 및 독자적인 기술개발이 절실히 요구되고 있음
- 소비자에게 수소연료전지 자동차 안전도와 관련된 객관적이고 합리적인 정보를 제공함으로써 수소연료전지 자동차 구매에 있어 더욱 안전한 자동차를 구매토록 하고, 또한 이를 통해 제작자는 안전성이 확보된 좀더 안전한 자동차를 제작하도록 유도함으로써 국내 자동차 시장에서 국산 제작사의 입지를 강화할 수 있을 것임
- 객관적이고 글로벌한 평가기술 및 평가결과 산정방법 개발을 통하여 국

외 자동차 시장에서도 국산 제작사의 시장성 확보는 물론 수소연료전지 자동차의 신뢰성 확보를 도모할 수 있을 것으로 판단됨

나. 파급효과

○ 사회적 효과

- 국민의 안전, 건강생활 증진 및 권익보호
 - 수소연료전지자동차 기술의 상용화로 미세먼지 및 유해가스, CO₂ 배출량 저감
 - 안전성이 확보된 수소연료전지 자동차 보급으로 교통사고에 의한 사회적, 경제적 손실비용 감소에 기여
 - 소비자에게 수소연료전지 자동차의 안전도에 대한 정보 제공

○ 경제적 효과

- 건설교통산업의 매출 증가
 - 새로운 자동차부품 핵심기술개발로 신규시장 개척 / 매출 증가
 - 수소연료전지 자동차의 안전에 대한 소비자의 인식 제고로 보급 확대
- 국가 전체산업의 에너지 효율성이 향상
 - 화석연료 의존성을 감소시켜 국가의 에너지 효율성 향상
- 국내 자동차산업의 국제 경쟁력 강화에 기여
 - 안전성이 확보된 수소연료전지 자동차의 생산으로 자동차 세계시장에서의 점유율 증대

○ 국가 효율성 극대화

- 정책효율성 향상 : 수소연료전지 자동차 국내 안전기준 재정비로 효율성 향상 토대 마련
 - 안전성 평가기술 개발을 통하여 수소연료전지 자동차 성능 및 안전관련 기준 개발
 - 국제 평가기준 확보로 통상마찰 해소 및 국가 경쟁력 제고에 기여
- 지구온난화에 대비한 기후변화협약의 차질없는 이행

○ 기 타

- 기존의 자동차기술 범위를 초월하여 화학 · 전기 · 전자 · 에너지 · 신소재 등 광범위한 기술 융합으로 산업 전분야에 대한 기술발전, 전문인력 양성, 고용증대 등의 파급효과 극대화

- 고압수소 안전성 평가시험 시설과 고전압 전기 안전성 평가시험 시설은 현재 명확히 정립되어 있지 않고 있으나, 본 과제 수행시 이에 대한 평가시험 시설의 정립 및 구축사업이 별도로 병행되어 수소연료전지 자동차의 안전성을 종합적으로 평가할 수 있는 시험시설 구축

[참고문헌]

☐ 국내

1. 미래형자동차 비교 및 사업매력도 평가. 2004.11. 한국과학기술정보연구원
2. 차세대자동차의 2020 비전과 전략. 2007. 4, 산업연구원
3. 건설교통 R&D 혁신로그맵 보고서, 2006. 10. 한국건설교통기술평가원
4. 자동차 신기술 동향과 대응과제, 2003. 9. 현대자동차
5. 환경친화적 자동차의 개발·보급 기본계획 수립 및 보급지원방안 연구, 2005. 6. 산업연구원, 산업자원부
6. 자동차기반기술개발사업 기획연구. 2006. 6. 자동차부품연구원
7. 차세대 성장동력 Road-Map -미래형자동차-. 2005. 10. 한국산업기술재단
8. 미래형 친환경자동차 핵심부품 심층조사-연료전지자동차-. 2005.11. 자동차부품연구원
9. 산업환경 변화와 자동차 부품산업의 발전전략. 2005. 12. 산업연구원
10. 자동차 안전기준 국제화 방안연구. 2004. 12. 건설교통부
11. 2005 무저공해자동차 사업 국제심포지엄 및 기술교류 발표회. 2005. 11. 무저공해사업단
12. 신재생에너지 워크숍 및 추계학술대회. 2005. 11. 에너지관리공단 신재생에너지센터

☐ 국외

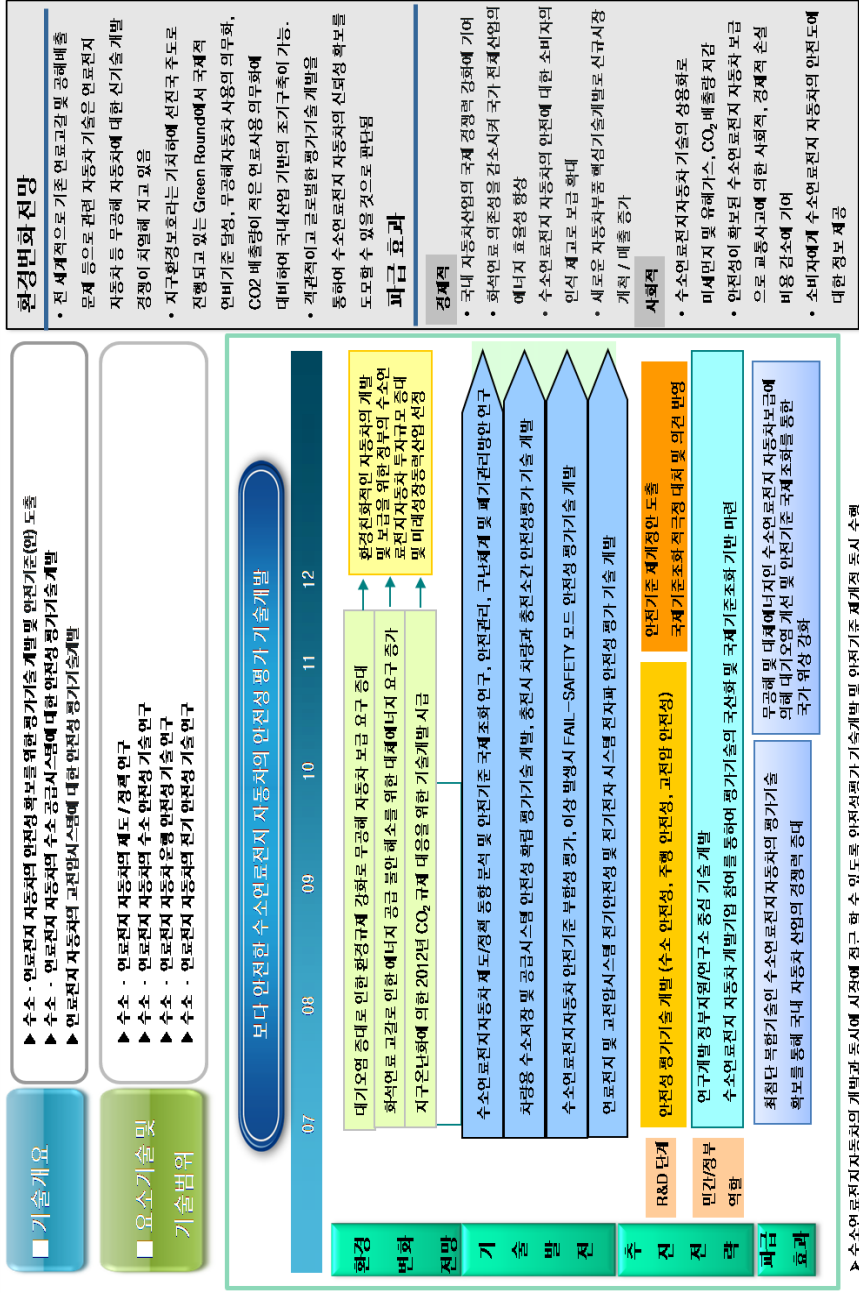
1. Hydrogen Fuel Cell Vehicle GTR Action Plan, 2007. 5, UN/ECE/WP29-141-19
2. National hydrogen Energy Roadmap, 2002. 11, United States Department of Energy
3. FreedomCAR and Fuel Partnership Plan, 2006. 3, United States Department of Energy
4. National Hydrogen and Fuel Cell Technology Innovation Programme, 5. 2006, Fedral Ministry of Transport, Building and Urban Affairs
5. Vehicle Safety Rulemaking and Supporting Research Priorities, 1. 5005, NHTSA
6. The Newest Codes and Standards for Hydrogen and Fuel Cells, 11. 2006, National Hydroen Association
7. Hydrogen Posture Plan. 2004. 3 DOE
8. 電氣自動車, Hybrid 自動車, 燃料電池自動車 現況 未來, 2003. 3. JEVA
9. Applications of Fuel Cells in Vehicle(SP-2098). 2007. SAE

10. Fire Safety(SP-2097). 2007. SAE

별첨 1

프로그래밍별 총괄 TRM

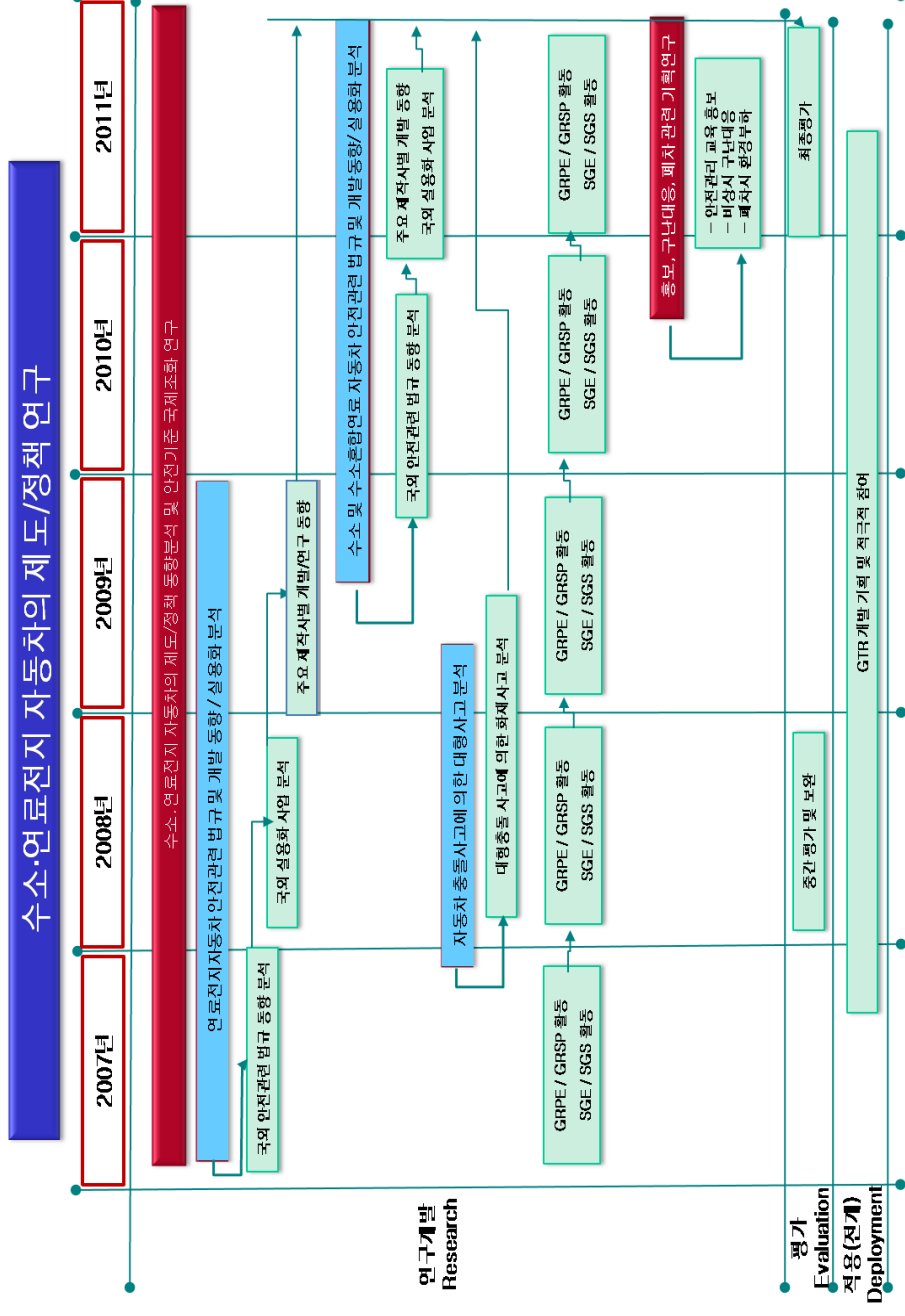
수소 · 연료전지자동차 안전성 평가 기술개발



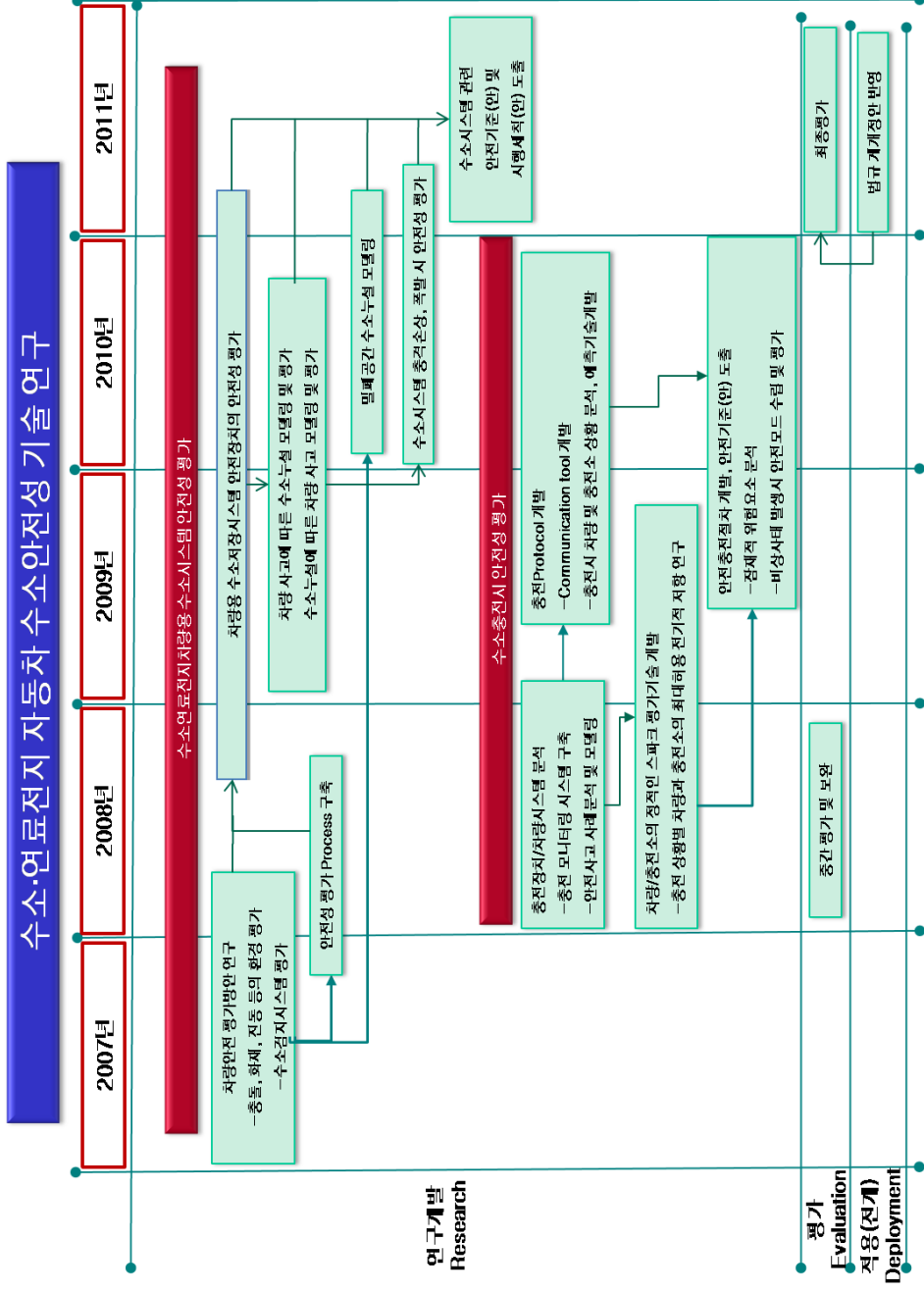
환경변화전망	
• 전 세계적으로 기존 연료고갈 및 공해배출 문제로 관련 자동차 기술은 연료전지 자동차 등 무공해 자동차에 대한 신기술 개발 경쟁이 치열해 지고 있음 • 지구환경보호라는 가치하에 선진국 주도로 진행되고 있는 Green Round에서 국제적 연비기준 달성, 무공해자동차 사용의 의무화, CO2 배출량이 적은 연료사용 의무화에 대비하여 국내산업 기반의 조기구축이 가능. • 객관적이고 글로벌한 평가기술 개발을 통하여 수소연료전지 자동차의 신뢰성 확보를 도모할 수 있을 것으로 판단됨	
피급 효과	
경제적 • 국내 자동차산업의 국제 경쟁력 강화에 기여 • 화석연료 의존성을 감소시켜 국가 전체산업의 에너지 효율성 향상 • 수소연료전지 자동차의 안전에 대한 소비자의 인식 제고로 보급 확대 • 새로운 자동차부품 핵심기술개발로 신규시장 개척 / 매출 증가 사회적 • 수소연료전지자동차 기술의 상용화로 미세먼지 및 유해가스, CO₂ 배출량 저감 • 안전성이 확보된 수소연료전지 자동차 보급으로 교통사고에 의한 사회적, 경제적 손실 비용 감소에 기여 • 소비자에게 수소연료전지 자동차의 안전도에 대한 정보 제공	

연구분야별 TRM

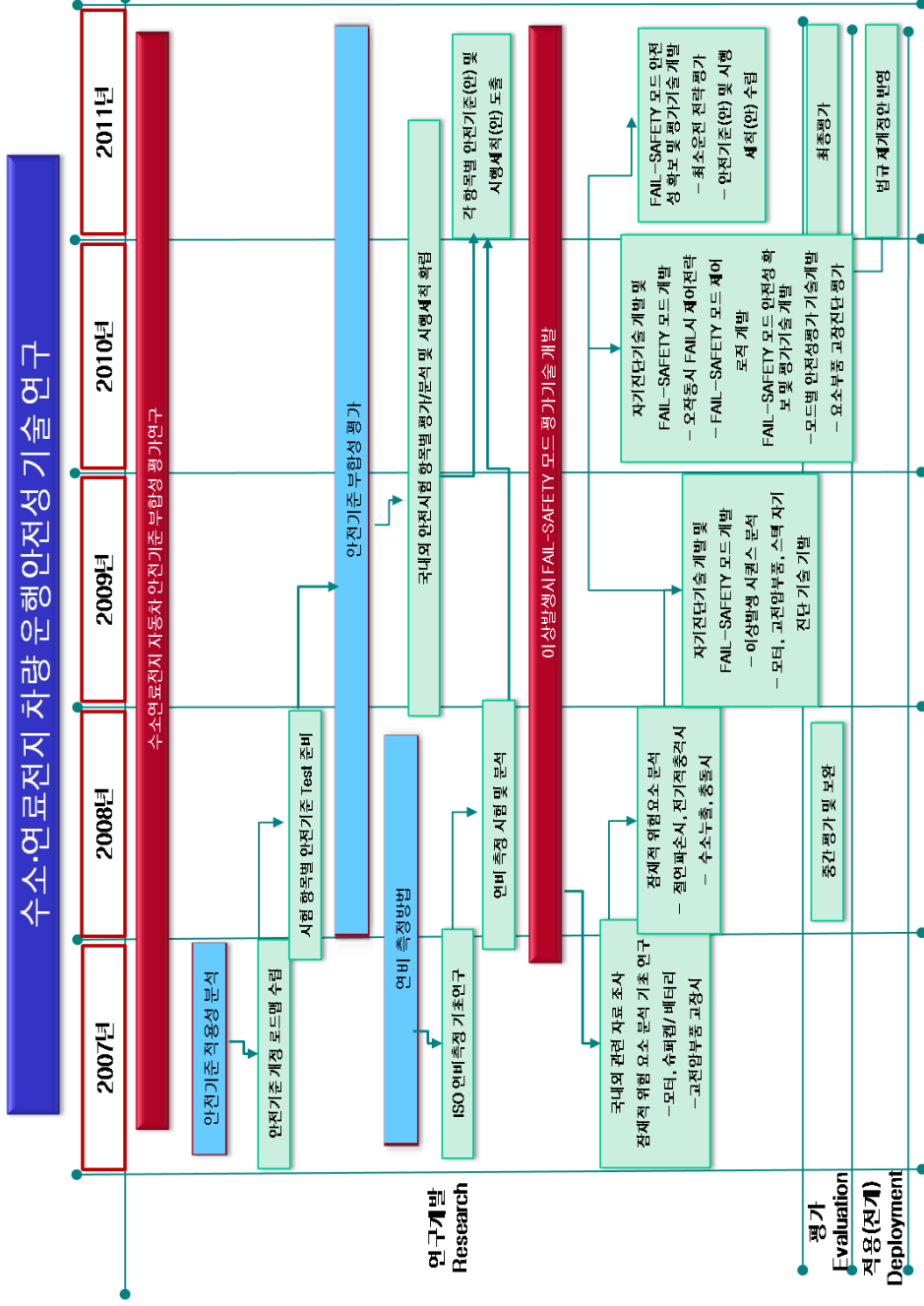
1) 수소·연료전지 자동차의 제도/정책 연구 TRM



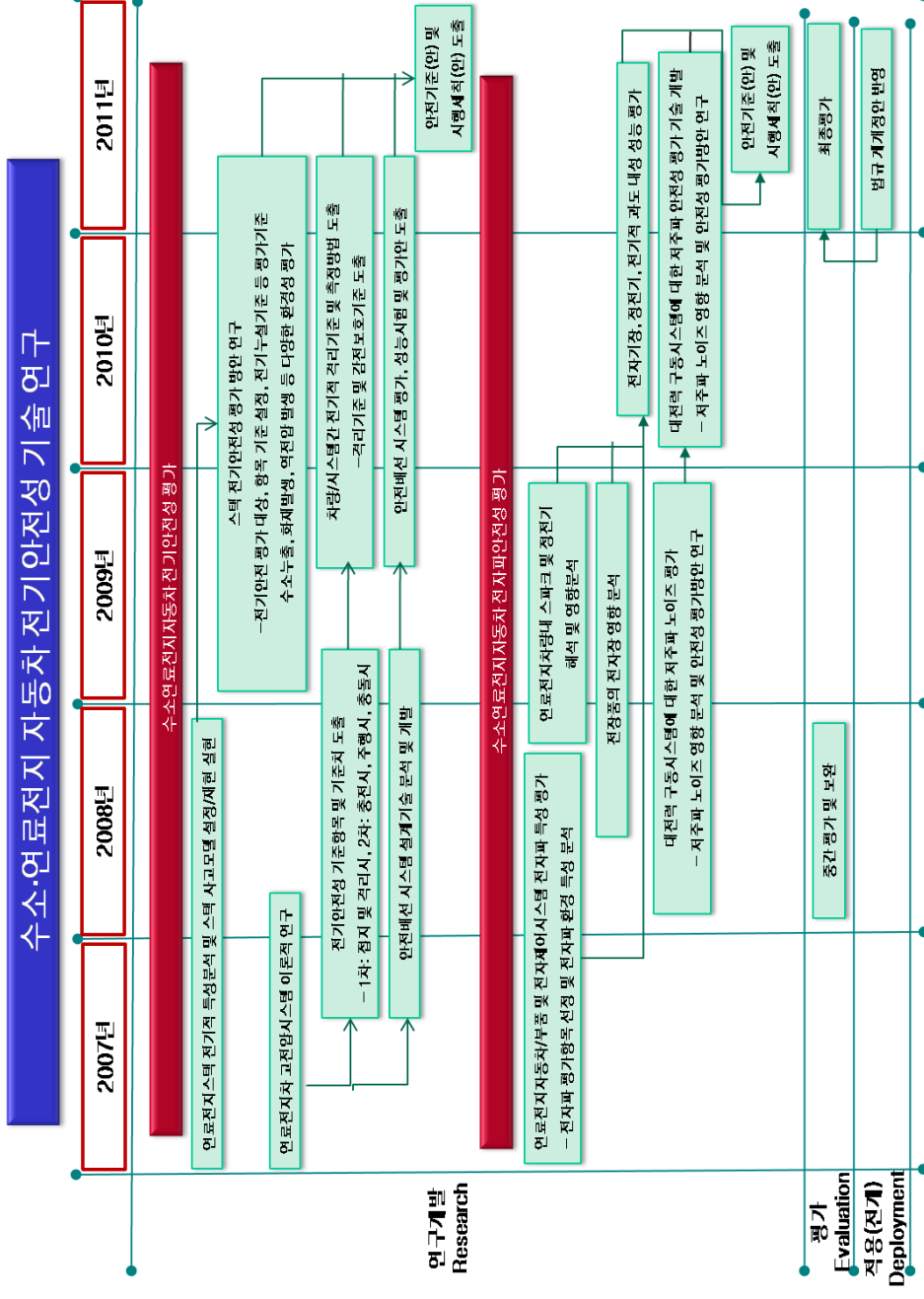
2) 수소·연료전지 자동차 수소안전성 기술 연구 TRM



3) 수소·연료전지 차량 운행안전성 기술 연구 TRM



4) 수소·연료전지 자동차 전기안전성 기술 연구 TRM



별첨2

수소·연료전지 자동차 안전성 평가기술개발 제안요구서 [RFP]

과제명 : 수소·연료전지 자동차 안전성 평가기술개발을 위한 기획 연구

연구과제명	수소·연료전지 자동차 안전성 평가기술개발을 위한 기획 연구
1. 연구개발목표	○ 수소연료전지자동차의 사고위험성 최소화를 위한 안전성 평가 기술 개발 ○ 수소를 연료로 하는 연료전지 자동차에 대한 고전압장치, 수소가스 안전성 등에 대한 안전성 평가기술 및 안전기준 개발 - 정부의 자동차 관리 기능을 극대화 - 국제적인 평가기준 확보로 통상마찰 해소 - 국내 자동차산업 경쟁력 향상 - 수소공급 시스템의 안전성 평가기술 개발 - 수소·연료전지 자동차의 안전기준(안) 및 평가기술 개발 - 연료전지 자동차의 고전압시스템 안전성 평가기술 개발
2. 연구개발 필요성	☐ 연구개발의 필요성 ○ 자동차의 배기가스에 의한 공기 오염, 주행 중 발생하는 소음과 같은 심각한 사회 문제를 발생시키고 있음 ○ 환경 관련 국제 합의로서 오존층 파괴를 막기 위해 프레온가스 사용을 규제한 1986년 몬트리올 의정서 이래, 기후변화협약이 1997년 일본의 교토에서 최종적으로 채택됨으로써 세계 각 국은 환경 관련 경각심이 고조됨 ○ 각종 규제 협약과 일부 선진국의 개별 입법에 의한 무역 규제가 증가함에 따라 높은 수준의 환경기술과 환경친화적 산업구조를 가진 국가들이 지구 환경보전을 명분으로 국제적으로 그린라운드(Green Round)를 결성하고 있으며, 미국의 캘리포니아주를 비롯한 여러 주에서는 무공해자동차(ZEV; Zero Emission Vehicle)와 저공해 자동차 의무 판매를 포함한 자동차 배기가스 규제를 입법화

	하고 있어 각국의 자동차 회사는 이에 대응하기 위한 친환경기술을 개발해야 하는 어려움에 직면하고 있음 ○ 한국 자동차산업도 생존을 위해서는 친환경 자동차의 개발이 필수적이고 연료전지자동차의 개발은 친환경 자동차 개발의 핵심적 요소라 할 수 있음 ○ 우리나라 자동차 산업은 제조업의 10%를 차지하며 자동차 관련 부품 산업은 2000년 약 19.8조원 규모로 국내 부품 산업 전체의 4.8% 차지하며, 2010년 7.5%로 예상됨 ○ 연료전지자동차의 개발은 기존 자동차 부품 산업계에 변동을 수반할 것으로 예상되며, 연료전지자동차와 관련된 연료전지 운전장치 시스템의 핵심부품 및 기술을 조기 개발함으로써 기술 경쟁력 강화 및 핵심 기술에 대한 해외의존도를 탈피함으로써 핵심기술의 선점에 따른 새로운 산업수요 창출 가능 ○ 미국, 유럽, 일본 등 선진국은 고압수소가스 등 연료전지자동차의 안전성 기술 확보를 통한 연료전지자동차 시장을 선점하기 위해 치열하게 경쟁하고 있음 ○ 현재 UN산하 자동차분과위(UN/ECE/WP29) 등에서 기술규정, 안전기준, 평가기술 등의 제정 추진에 자국의 입장 반영을 추진하고 있음
□ 국내외 기술동향	○국내 기술개발 동향 및 수준 - 국내에서는 1998년 국가 G7 사업 및 차세대 자동차 개발 사업을 바탕으로 연료전지 자동차가 개발되기 시작했고, G7사업을 통하여 현대자동차와 한국과학기술원은 1999년과 2001년에 각각 10kW급과 25kW급 스택을 개발하여 스포티지 연료전지 하이브리드 차와 쏘타페 연료전지 하이브리드차를 개발 및 시연했음 - 이후로 현대-기아자동차는 국내 우수 연구소와의 요소

기술개발을 통한 독자기술력을 확보함과 아울러 미국 IFC사(현 UTCFC)와의 공동개발을 수행했으며, 그 결과 2000년 11월 75kW급 스택을 장착한 싼타페 연료전지 차를 개발했으며, 저온 시동성이 개선된 투싼 연료전지 자동차를 2004년 개발했고, 2005년에는 스포티지 연료전지 자동차를 선보였음

현대-기아자동차에서 개발하고 있는 투싼 및 스포티지 연료전지 자동차는 2004년부터 2009년까지 미국에 32대가 투입되어 미국 에너지성의 시범운행에 참여하게 될 것이고, 사업 참여 목적은 시범운행사업을 통한 연료전지 자동차의 실용화 가능성을 검증하고 기술개발 방향 및 전략을 수립하며, 연료전지 자동차 및 수소생산·공급·충전 설비관련 기술표준화 작업에 참여하는 것임. 현대-기아 자동차는 2010~2019년에는 소량 생산 단계로 연간 10만대 규모의 생산체제를 구축할 예정이며, 2020년 이후부터는 연료전지 자동차 양산을 통해 국내외 시장에 본격적으로 보급할 예정임

○국외 기술개발 동향 및 수준

- 외국 자동차사에서 개발된 연료전지 자동차는 실증운행을 통하여 시범 운행되고 있고, 현재 운행 중인 각 메이커의 대부분의 연료전지 차량들은 최대 출력이 80~90kW수준이며, 최대속도가 150km/h내외로써 기존 내연기관차량의 수준에 도달해있지만, 항속거리는 300~400km로써 현 내연기관 차량 수준인 500kW이상으로 확보하기 위한 연구개발을 진행중에 있음
- 일본의 경우 도요타는 1992년부터 연료전지 사업에 착수하여 1996년에 첫 연료전지 차량을 선보였고, 초기부터 연료전지 차량뿐만 아니라 연료전지 스택을 자체 개발했

	으며 2002년부터는 미국과 일본 내에 리스 판매를 시작했으며, 혼다는 1995년에 처음 연료전지 차량을 선보이고 2005년부터 자체적으로 개발한 연료전지를 탑재한 차량을 리스판매하고 있음 - 미국과 유럽의 경우, GM은 1997년 신티라를 시작으로 연료전지자동차개발에 착수했고, 매우 공격적으로 자신들의 연료전지차에 신기술을 적용하고 있고, 다임러크라이슬러는 완성차 업체 중에서 가장 먼저 연료전지차량의 개발에 착수했으며 이미 1994년에 연료전지 차량을 개발, 발표했고, 현재는 약 60여 대의 승용차를 전 세계에서 시범운행하고 있으며 40 여대의 연료전지 버스도 유럽 각지에서 운행하고 있음.
3. 연구개발내용	○ 수소·연료전지 자동차의 제도/정책 연구 ☞ 수소·연료전지 자동차의 제도/정책 동향분석 및 안전 기준 국제조화 연구 - 외국 안전관련 법규 및 실용계획, 주요제작사별 개발 현황 - 자동차 충돌에 의한 대형사고 분석 - 수소연료전지 자동차 분야 안전기준 국제조화 및 WP.29 수소연료전지 자동차의 GTR 개발 위한 기획 ☞ 수소·연료전지자동차 안전관리, 구난체계 및 폐기방안 선행연구 - 수소연료 사용에 따른 취급요령 및 수소자동차 안전 확보 방안 전략 수립 - 비정상적인 상태에서의 수소연료 자동차의 안전확보 매뉴얼 선행연구 - 폐차관련 환경부하 분석 및 재사용 가능 부품의 분석 및 제작시 유해물질 선행연구

○ 수소·연료전지 자동차의 수소 안전성 연구

☞ 차량용 수소 저장 및 공급시스템 안전성 확립을 위한 평가기술 개발

- 충돌 및 단품 누출시험시 수소 대체 가능 물질 선정
- 주차중 수소 누출시 및 압축수소저장시스템 안전성 평가
- 수소저장시스템의 주행중 및 신저장 시스템의 안전성 평가

수소센서 및 누설감지 & 감지시스템 분석

- 수소누설에 대한 형태 및 조건 분석
- 감지 및 차단시스템의 평가기술 연구

☞ 충전시 차량과 충전소간 안전성 평가방안 연구

- 자동차와 수소충전 시스템의 수소 누설
- 자동차와 수소충전소의 정적 스파크 평가
- 수소 충전시 안전확보를 위한 충전소 규격 개발

○ 수소·연료전지 자동차 운행안전성 연구

☞ 수소·연료전지 자동차 안전기준 부합성 평가 연구

- 수소·연료전지자동차안전기준 적용성 분석
- 연료전지자동차 연비측정 방법 평가
- 수소·연료전지자동차의 안전기준 부합성 평가
- 안전기준(안) 및 평가방법(안) 도출
- 수소·연료전지자동차 신규항목 도출

☞ 연료전지자동차 FAIL-SAFETY 모드 안전성 평가 연구

- 연료전지시스템의 잠재적 위험요소 분석
- 연료전지 FAIL 발생시 안전성 평가기술 연구
- 제어계통 이상시 FAIL -SAFETY 모드 분석
- FAIL-SAFETY 모드 안전성 확보 방안

○ 수소·연료전지 자동차 전기안전성 연구

☞ 연료전지 및 고전압시스템 전기안전성 연구

- 차체 및 부품의 접지/전기적 접촉의 안전성 평가방안 개발
- 충전시, 주행시, 충돌시 등 화재 및 감전 위험성 평가
- 연료전지 차량용 보조전원장치의 전기관리시스템 평가
- 대전력 구동 시스템 안전성 확보방안 연구 및 평가기술 개발
- 고전압/고전류 대응 안전배선 시스템 개발 및 안정성 평가기술 개발

☞ 연료전지 및 전기전자시스템 전자파 안전성 연구

- 연료전지 자동차 및 전자제어시스템 전자파 환경 특성분석
- 전자기장, 정전기, 전기적 과도 내성성능 평가기술 개발
- 대전력 구동 시스템에 대한 저주파 평가기술 개발

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

- 수소연료전지 자동차의 안전성 보증절차는 정상적인 주행상태, 수소 주유상태, 수리 및 주차시, 충돌사고시와 같은 소비자 사용 특성이 반영되어야 하며, 특히, 개방된 공간과 밀폐된 공간에서의 주행상태와 주차상태가 포함되어야 함
- 위험도 평가는 중요한 수소연료전지 자동차 시스템의 기술적인 분석에서 시작되고, 실제 도로주행에서 나타나지 않는 영향은 악조건하에서 결함 재현시험을 실시하고 영향에 대한 결과를 분석하여야 하고, 1421 구성부품과 시스템 결함모드와의 연결관계는 다중경

로방식을 이용하여 위험한 결과를 피하고 차단하여야 함

- 위험도 평가절차는 영향도, 발생확률, 예기치 않는 결함의 운전자 경보기능과 같은 결함규명을 전형적으로 순위 매김으로써 결론을 도출할 수 있음
- 전형적인 위험도 관리에 대한 절차는 안전에 방해되는 심각한 위험상황, 특히 내재된 결함모드에 따른 위험요인을 방지하기 위하여 설계되어야 하며, 설계 및 기술은 완성된 자동차, 개별시스템, 구성부품들의 모의분석과 시험, 실차시험에 의해 검증된 위험도 관리 시험으로 규명되어야 함
- 제3자에 의한 인증시험은 단품시험, 시스템 평가에 대하여 수소연료전지 자동차가 운행되는 각 나라에 따라 인증되어야 하며, 각 나라별 인증기관은 수소연료전지 자동차의 설계, 제작사가 제안한 안전성 분석 및 향후 연료전지 자동차의 각 나라의 형식승인을 취득하기 위한 사전검토를 시행하여야 함
- 수소연료전지 자동차 안전성확보를 위한 평가기술 개발은 자동차 발전기술과 더불어 개발되고 진행되어야 함
- 수소연료전지 자동차의 안전성평가 기술개발은 자동차 제작사의 수소연료전지 자동차의 기술 발전 속도와 보조를 맞추어 앞으로 지속적으로 수행되어야 함
- 본 기획보고서에는 연구과제를 5년의 개발기간을 두고 중점적으로 검토하였으나 최종성과물의 개발이 완료되기 전에 1단계 5년 이후의 2단계 기획연구가 필요할 것으로 사료됨
- 본 연구는 현재 시행 중인 자동차관리법의 하위법령인 “자동차 안전기준에 관한 규칙”의 평가를 기본으로 삼고 있으며, 안전기준의 시험항목 뿐만 아니라,

	포함되어 있지 않는 분야에 대한 평가기술 개발과 함께 안전기준(안) 및 안전기준 시행세칙(안)을 도출하는 것이 최종 목표임 ○ 또한 국내 안전기준과 관련된 FMVSS, ECE, 일본 보안기준의 적용성 분석은 물론 연구결과를 토대로 세계기술규정(GTR) 및 ISO 제·개정에 적극 참여가 필요함 ○ 수소·연료전지 자동차에 대한 다양한 평가항목과 안전성 확보기술에 대한 대안이 검토되고 거론될 수 있으나, 연구기간 및 연구비 등을 고려하여 가장 실효성이 높은 항목부터 우선 선정하여 연구를 진행해야 할 것임 ○ 수소·연료전지 자동차의 안정성 확보 기술개발은 정부 정책의 변화가 뒤따라야하므로 관련 정책의 영향 등을 고려하여 연구계획을 수립되어야 함 ○ 수소연료전지 자동차의 안전성 확보를 통하여 사고위험도 제고는 정부에서 시행중인 여러가지 교통안전 사업의 시너지 효과를 낼 수 있음 ○ 수소연료전지 자동차의 안전도 평가 기술개발은 국민의 생명과 재산을 직접적으로 보호하고, 한국의 자동차 산업 진흥을 위해서 필수적으로 국가가 주도적으로 추진하여야 함
□ 추진체계	○ 수소·연료전지 자동차 전문가들로 구성된 자문단의 의견수렴을 통해 연구개발의 방향 및 내용 조정 ○ 산·학·연의 역할분담 및 공동연구를 통하여 연구의 효율성 증대 및 시너지 효과 창출 ○ 선진국의 수소·연료전지관련 법규 및 안전성평가기술 조사

5. 사업기간 및 소요예산

○ 사업기간 : 2007. ~ 2011. (5년)

○ 사업예산 :

- 총사업비 : 정부 188 억원

민간 56 억원

※ 정부예산 사정에 따라 조정될 수 있음

연구 분야 별 RFP

1) 수소·연료전지 자동차의 제도/정책 연구

연구개발 목 표	수소·연료전지 자동차에 대한 안전관련 법규/실용화를 분석 및 안전기준 국제조화 및 GTR 개발 기획을 하여 전체 사업의 방향을 설정하고, 수소·연료전지자동차의 본격적인 보급시 홍보, 구난대응, 폐차 등에 대한 기초연구를 수행하고자 함
연구개발 필 요 성	○ 무공해 수소·연료전기 자동차가 미래 자동차 산업의 대안으로 부상 ○ 국제사회의 안전기준에 대한 한국의 역할 증대 요구 ○ 수소·연료전지자동차는 기존 내연기관 자동차와 차별화된 고려 필요
주요내용 및 범위	○ 외국의 연료전지 자동차 안전관련 법규 동향 및 연구방향 분석 ○ 각 제작사별 연료전지자동차 개발 및 연구 동향 파악 ○ 수소·연료전지 자동차의 안전기준 국제조화를 위한 WP.29 등 국제회의의 대응 ○ 자동차 충돌에 의한 대형사고 분석 ○ 수소 및 수소혼합 연료 자동차 안전관련 법규 동향 및 연구방향 분석 ○ 각 제작사별 수소 및 수소혼합 연료 자동차 개발 및 연구 동향 ○ WP.29에서 수소·연료전지자동차의 GTR 개발을 위한 기획 ○ 수소·연료전지자동차 안전관리를 위한 교육·홍보자료 기초연구 ○ 비정상 운행시의 수소연료 자동차의 안전확보 매뉴얼 기초연구 ○ 수소·연료전지자동차의 폐기관련 환경부하 분석 및 인체 유해물질 기초연구
세부 연구 내용	○ 외국의 연료전지 자동차 안전관련 법규 동향 및 실용화 분석 - 일본 (도로운송차량법, TRIAS), 미국 (FMVSS, SAE), 유럽 (ECE, ISO) - 일본 (JARI, JHFC), 미국 (CaFCP, DOE, DOT), 유럽 (아이슬랜드, 독일) ○ 주요 제작사별 연료전지 자동차 개발 및 연구 동향 - 향후 외국의 전문기관과 협력약정 (MOC) 체결을 위한 협의 등 포함 ○ UNECE WP.29의 수소·연료전지 전문가 기술회의 - SGE (환경분야 전문가 기술회의), SGS (안전분야 전문가 기술회의) ○ UNECE WP.29 GRPE(환경 및 에너지), GRSP(충돌안전) 전문가 그룹 회의 - 국내 대응 TF팀(전문가 그룹) 조직 및 운영 ○ 자동차 충돌에 의한 대형 사고 분석 - 대형충돌사고 및 화재사고 분석 ○ 수소 및 수소혼합 연료 자동차 안전관련 법규 및 실용화 분석 - 일본, 미국, 유럽, ISO, 북미 : 미국, 캐나다 Cummins Westport ○ 주요 제작사별 수소 및 수소혼합 연료 자동차 개발 및 연구 동향 ○ 수소연료 사용에 따른 취급요령 등 안전확보 방안 교육·홍보자료 선행연구 - 일반적인 장소, 즉 도로, 정비업체, 충전소 등에서 지켜야 할 안전한 수소 사용방법에 대한 교육·홍보 자료, 대국민 홍보 전략 수립 ○ 비정상적인 상태에서의 수소연료 자동차의 안전확보 매뉴얼 선행연구 - 사고시, 고장발생시 등 수소연료 자동차의 자동차 탑승자, 구조요원 등의 안전확보 대응 매뉴얼, 다양한 예상 상황별 매뉴얼 ○ 수소·연료전지 자동차의 폐차 및 재사용관련 선행연구 - 폐차시 재사용 부품에 활용방안, 수소·연료전지 자동차 제작시 사용되는 유해물질
추진방법	○ 연구소, 대학 공동 연구 개발

파급효과 및 활용방안	○ 수소·연료전지자동차에 대한 GTR, ISO 제개정에 적극적 참여로 위상제고 ○ 수소·연료전지자동차 안전성 평가기술 확보 및 국제기준 제정에 기여 ○ 안전도가 확보된 국내 수소·연료전지자동차의 개발 및 보급에 기여 ○ 수소·연료전지자동차의 보급화에 대비하여 수소, 고전압 안전에 대한 홍보, 구난, 폐차에 대한 로드맵 작성 및 기획						
연차별 연구개발	1년차	○ 외국의 연료전지 자동차 안전관련 법규 동향 분석 - 일본 (도로운송차량법, TRIAS), 미국 (FMVSS, SAE), 유럽 (ECE, ISO) ○ UNECE WP.29의 수소·연료전지 전문가 기술회의 - SGE (환경분야 전문가 기술회의), SGS (안전분야 전문가 기술회의) ○ UNECE WP.29 GRPE(환경 및 에너지), GRSP(충돌안전) 전문가 그룹 회의 - 국내 대응 TF팀(전문가 그룹) 조직 및 운영					
	2년차	○ 외국의 연료전지 자동차 실용화 분석 - 일본 (JARI, JHFC), 미국 (CaFCP, DOE, DOT), 유럽 (아이슬랜드, 독일) ○ 주요 제작사별 연료전지 자동차 개발 및 연구 동향 - 향후 외국의 전문기관과 협력약정 (MOC) 체결을 위한 협의 등 포함 ○ 자동차 충돌에 의한 대형 사고 분석 - 대형충돌사고 및 화재사고 분석 ○ UNECE WP.29의 수소·연료전지 전문가 기술회의 - SGE (환경분야 전문가 기술회의), SGS (안전분야 전문가 기술회의) ○ UNECE WP.29 GRPE(환경 및 에너지), GRSP(충돌안전) 전문가 그룹 회의					
	3년차	○ 주요 제작사별 연료전지 자동차 개발 및 연구 동향 ○ 수소 및 수소혼합 연료 자동차 안전관련 법규 동향 분석 - 일본, 미국, 유럽, ISO ○ UNECE WP.29의 수소·연료전지 전문가 기술회의 - SGE (환경분야 전문가 기술회의), SGS (안전분야 전문가 기술회의) ○ UNECE WP.29 GRPE(환경 및 에너지), GRSP(충돌안전) 전문가 그룹 회의					
	4년차	○ 수소 및 수소혼합 연료 자동차 실용화 분석 - 북미 : 미국, 캐나다 Cummins Westport ○ 주요 제작사별 수소 및 수소혼합 연료 자동차 개발 및 연구 동향 ○ UNECE WP.29의 수소·연료전지 전문가 기술회의 - SGE (환경분야 전문가 기술회의), SGS (안전분야 전문가 기술회의) ○ UNECE WP.29 GRPE(환경 및 에너지), GRSP(충돌안전) 전문가 그룹 회의					
	5년차	○ 수소연료 사용에 따른 취급요령 등 안전확보 방안 교육·홍보자료 선행연구 - 일반적인 장소, 즉 도로, 정비업체, 충전소 등에서 지켜야 할 안전한 수소 사용 방법에 대한 교육·홍보 자료, 대국민 홍보 전략 수립 ○ 비정상적인 상태에서의 수소연료 자동차의 안전확보 매뉴얼 선행연구 - 사고시, 고장발생시 등 수소연료 자동차의 자동차 탑승자, 구조요원 등의 안전 확보대응 매뉴얼, 다양한 예상 상황별 매뉴얼 ○ 수소·연료전지 자동차의 폐차 및 재사용관련 선행연구 - 폐차시 재사용 부품에 활용방안, 제작시 사용되는 유해물질 ○ UNECE WP.29의 수소·연료전지 전문가 기술회의 - SGE (환경분야 전문가 기술회의), SGS (안전분야 전문가 기술회의) ○ UNECE WP.29 GRPE(환경 및 에너지), GRSP(충돌안전) 전문가 그룹 회의					
연구기간 및 소요연구비	(단위 : 억원)						
	구 분	'07	'08	'09	'10	'11	합계
	정부출연	2.0	2.0	2.0	3.0	4.0	13
	공공기관						0
	민간부담						0
합 계	2	2	2	3	4	13	

2) 수소·연료전지 자동차의 수소안전성 기술 연구

연구개발 목 표	○ 수소연료전지자동차의 수소저장 및 공급시스템 안전성 확립을 위한 평가기술과 차량/충전 소간 충전 Process에서의 안전성 평가기술 개발
연구개발 필 요 성	○ 현 내연기관차량과 달리 수소를 연료로 차량에 대해서 안전성 평가기술 개발 필요 ○ 고압의 수소를 사용하기 때문에 타 연료의 경우와 다른 안전설계기준 필요 ○ 수소연료의 충전과정에 대한 안전기준 및 충전시 차량과 충전소의 안전기준 필요
주요내용 및 범위	○ 차량용 수소 저장 및 공급 시스템의 안전성 확립을 위한 평가기술 개발 ○ 수소를 연료로 사용하는 자동차의 충전시 안전성 평가기술 개발
세부 연구 내용	○ 고압 수소시스템의 안전설계기준 수립에 필요한 충돌, 화재 및 진동시험 안전성 평가 - 시험 방법 Protocol 개발 - 고압 수소저장시스템의 차량 장착시 진동내구 안전성 평가 - 수소탱크 및 안전장치의 화재 안전성 평가를 위한 설비 구축 ○ 수소센서 및 누설감지 시스템의 차량 적합성 평가 - 차량내 수소센서 성능평가 및 설치 위치 및 감지 범위 연구 - 시스템내 수소 누설시 위험 감소 방안 연구 ○ 차량용 수소관련 각종 안전장치의 안전성 평가 ○ 수소 누설 형태 및 조건에 대한 분석 - 다양한 환경(개방 또는 밀폐공간) 수소 누설로 인한 차량 사고 모델링 - 차량내 수소 누설 형태 및 조건에 따른 안전성 평가 및 주변 부품 영향도 평가 ○ 차량용 수소저장용기 및 공급배관 안전성 평가 - 수소시스템 충격 손상 안전성 평가 - 수소시스템의 주행시 장애물 노출에 따른 안전성 평가 - 수소 저장 및 공급시스템에 대한 안전기준(안) 및 평가방법(안) 작성 ○ 수소연료 충전시 충전장치 및 연료저장시스템 거동 분석 - 차량내 충전시 연료저장시스템내 거동 분석 연구 ○ 자동차와 수소충전소의 정적인 스파크 평가기술 - 자동차와 수소충전소의 최대허용 전기적 저항 연구 - 충전압력별 연료 주입노즐과 수소충전소의 최대허용 전기적 저항 연구 ○ 수소연료 자동차의 안전충전 절차 개발 - 수소충전시 원격 모니터링 Protocol 또는 Communication tool 평가 - 비상사태 발생시 충전 fail-safety mode 수립 및 평가
추진방법	○ 산업체, 연구소, 대학의 공동연구 개발
파급효과 및 활용방안	○ 수소연료전지자동차의 안전기준(안) 및 평가시험방법(안)을 도출하여 수소연료전지차 의 개발 및 보급에 기여 ○ 수소연료전지차의 수소시스템과 충전에 관련하여 진행 중인 각종 국제표준화 및 안전 기준관련한 국내 자동차산업의 경쟁력 증대 ○ 안전성이 확보된 수소연료전지자동차 생산으로 국내 자동차산업의 국제 경쟁력 강화 ○ 수소연료전지 자동차 국내 안전기준 재정비로 정책효율성 향상 토대 마련 ○ 국제 평가기준 확보를 통하여 통상마찰 해소 및 국가 경쟁력 제고에 기여 ○ 수소연료전지 자동차의 안전에 대한 소비자의 인식 제고로 보급 확대

연차별 연구개발	1년차	○ 수소시스템 및 차량의 충돌, 화재 및 진동시험 평가 방안 ○ 차량내 수소센서 설치 위치 및 감지 범위 연구 ○ 수소센서 성능 및 신뢰성 평가 방안 연구					
	2년차	○ 수소시스템 및 연료전지차량의 충돌 및 진동시험 안전성 평가 ○ 고압 수소저장시스템 안전 설계 기준 수립 ○ 수소탱크 및 안전장치의 안전성 평가를 위한 설비 구축 ○ 수소충전거동 분석 연구 ○ 자동차와 충전소의 정적 스파크 평가기술 - 최대허용 저항 연구					
	3년차	○ 차량용 수소탱크 안전장치의 안전성 평가 ○ 수소 누설로 인한 차량 사고 모델링 결과 ○ 충전시 Protocol 개발 - communication tool 개발 및 평가 - 충전시 자동차 상태 평가, 예측기술개발					
	4년차	○ 밀폐된 공간에서의 수소 누설 모델링 결과 ○ 안전충전 절차 개발 - 수소연료전지차 충전시 안전절차 및 안전기준 - 비상사태 발생시 안전모드 수립 및 평가					
	5년차	○ 수소시스템 충격 손상 안전성 평가 ○ 수소시스템의 폭발에 의한 탑승객 및 외부에 미치는 영향 분석 ○ 수소 저장 및 공급시스템에 대한 안전기준(안) 및 평가방법(안)					
연구기간 및 소요연구비	(단위 : 억원)						
	구 분	'07	'08	'09	'10	'11	합계
	정부출연	4.0	9.0	13.0	14.0	6.0	46
	공공기관						0
	민간부담	0.5	3.5	3.0	2.5	2.5	12
	합 계	4.5	12.5	16	16.5	8.5	58

3) 수소·연료전지 자동차 운행안전성 기술 연구

연구개발 목 표	수소·연료전지 자동차의 국내외 안전기준 시험항목 적합성 평가/신규 시험항목을 발굴 및 이상 발생시 FAIL-SAFETY 모드에 대한 안전성 평가기술을 개발하고자 함
연구개발 필 요 성	○ 국내에서 모니터링 사업중인 수소연료전지 자동차의 안전성 확보 필요성 제기 ○ 수소연료전지 자동차의 정상상태뿐만 아니라 비정상적인 상태에서 안전성 확보 필요 ○ 기존 내연기관 자동차와는 완전히 개념이 다른 수소연료전지자동차의 고유 안전기준 및 안전성 평가방법 확립에 대한 세계적 요구 증대
주요내용 및 범위	○ 수소·연료전지 자동차에 안전기준 적용성 분석 ○ 수소·연료전지 자동차 연비 측정 방법 평가 ○ 수소·연료전지 자동차의 안전기준 각 시험항목별 평가 ○ 수소·연료전지 자동차의 신규 시험항목 발굴 ○ 연료전지자동차의 잠재적 위험 요소 및 고장 요소 분석 ○ 연료전지자동차 자기진단 기술 개발 및 이상 발생시 FAIL-SAFETY 모드 개발 ○ FAIL-SAFETY 모드 안전성 확보 및 평가 기술 개발
세부 연구 내용	○ 수소·연료전지 자동차의 안전기준 적용성 분석 - 안전기준 개정 로드맵 수립 및 개정방안 - 수소·연료전지 자동차 연비 측정 방법관련 평가 ○ 수소·연료전지 자동차의 안전기준 부합성 평가 - 수소·연료전지 자동차 각 안전시험 항목별 평가 및 분석 - 수소·연료전지 자동차 각 안전시험 항목별 시행세칙 확립 ○ 안전기준(안) 및 시행세칙(안) 도출 - 각 항목별 안전기준(안) 및 시행세칙(안) 작성 및 반영 ○ 수소·연료전지 자동차의 신규 시험항목 도출 - 신규 시험항목 발굴을 위한 로드맵 수립 ○ 연료전지 시스템의 잠재적 위험 요소 분석 - 모터, 수퍼캡/배터리, 고전압 부품 고장시, 절연 파손시, 전기적 충격시 위험 요소 분석 - 연료전지시스템 요소 부품 고장, 수소누출, 차량 충돌시 위험 요소 분석 ○ 연료전지자동차 자기진단 기술 개발 및 이상 발생시 FAIL-SAFETY 모드 개발 - 자동차 이상 발생 시퀀스 분석 및 부품 고장 진단, 수소누출 등의 위험 감지 기술 개발 - 모터, 고전압부품, 배터리/수퍼캡, 연료전지시스템 등의 자기진단 기술 개발 - FAIL-SAFETY 모드의 작동 조건 정의, 제어로직 개발 ○ FAIL-SAFETY 모드 안전성 확보 및 평가 기술 개발 - 이상발생시, FAIL-SAFETY 모드별 시험 및 안전성 평가 기술 개발 - 연료전지시스템, 모터, 제어기, 고전압 요소 부품 고장 진단 시험 및 평가 - FAIL 발생시 최소 운전 전략 평가 및 안전성 확보 - FAIL-SAFETY에 대한 안전기준(안) 및 시행세칙(안) 수립
추진방법	○ 산업체, 연구소, 대학의 공동연구 개발
파급효과 및 활용방안	○ 수소연료전지자동차의 WP29 국제안전기준 연구 항목을 발굴/수행하여 아국 입장을 적극적으로 반영하고 국내 자동차산업의 경쟁력 증대 ○ 수소연료전지자동차의 안전기준(안) 및 평가시험방법(안)을 도출하여 정책적으로 안전한 수소연료전지 자동차의 개발/보급에 기여 ○ 안전성이 확보된 수소연료전지자동차 생산으로 국내 자동차산업의 국제 경쟁력 강화 ○ 수소연료전지 자동차 국내 안전기준 재정비로 정책효율성 향상 토대 마련 ○ 국제 평가기준 확보를 통하여 통상마찰 해소 및 국가 경쟁력 제고에 기여 ○ 수소연료전지 자동차의 안전에 대한 소비자의 인식 제고로 보급 확대

연차별 연구개발	1년차	○ 수소·연료전지 자동차의 안전기준 적용성 분석 - 안전기준 개정 로드맵 수립 및 개정방안 - 수소·연료전지 자동차 연비 측정 방법관련 기초연구 · ISO/AWI 23274, 23828-1, 23829-1 ○ 연료전지 시스템의 잠재적 위험 요소 분석 - 모터, 수퍼캡/배터리, 고전압 부품 고장시 위험 요소 분석					
	2년차	○ 수소·연료전지 자동차 연비 측정 방법관련 시험 및 분석 ○ 연료전지 시스템의 잠재적 위험 요소 분석 - 절연 파손시, 전기적 충격시 위험 요소 분석 - 연료전지시스템 요소 부품 고장, 수소누출, 차량 충돌시 위험 요소 분석					
	3년차	○ 수소·연료전지 자동차의 안전기준 부합성 평가 - 수소·연료전지 자동차 각 안전시험 항목별 평가 및 분석 · 안전기준 항목 : 1, 2, 3, 15, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 31, 35, 41 · FMVSS(미국), ECE(유럽), 보안기준(일본) - 수소·연료전지 자동차 각 안전시험 항목별 시행세칙 확립 ○ 연료전지자동차 자기진단 기술 개발 및 이상 발생시 FAIL-SAFETY 모드 개발 - 자동차 이상 발생 시퀀스 분석 및 부품 고장 진단, 수소누출 등의 위험 감지 기술 개발 - 모터, 고전압부품, 배터리/수퍼캡, 연료전지시스템 등의 자기진단 기술 개발					
	4년차	○ 수소·연료전지 자동차의 안전기준 부합성 평가 - 수소·연료전지 자동차 각 안전시험 항목별 평가 및 분석 · 안전기준 항목 : 1, 2, 3, 15, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 31, 35, 41 - 수소·연료전지 자동차 각 안전시험 항목별 시행세칙 확립 ○ 연료전지자동차 자기진단 기술 개발 및 이상 발생시 FAIL-SAFETY 모드 개발 - FAIL-SAFETY 모드의 작동 조건 정의, 제어로직 개발 ○ FAIL-SAFETY 모드 안전성 확보 및 평가 기술 개발 - 이상발생시, FAIL-SAFETY 모드별 시험 및 안전성 평가 기술 개발 - 연료전지시스템, 모터, 제어기, 고전압 요소 부품 고장 진단 시험 및 평가					
	5년차	○ 수소연료전지자동차 안전기준(안) 및 시행세칙(안) 도출 - 각 항목별 안전기준(안) 및 시행세칙(안) 작성 및 반영 ○ 수소·연료전지 자동차의 신규 시험항목 도출 - 신규 시험항목 발굴을 위한 로드맵 수립 ○ FAIL-SAFETY 모드 안전성 확보 및 평가 기술 개발 - FAIL 발생시 최소 운전 전략 평가 및 안전성 확보 - FAIL-SAFETY에 대한 안전기준(안) 및 시행세칙(안) 수립					
연구기간 및 소요연구비	(단위 : 억원)						
	구 분	'07	'08	'09	'10	'11	합계
	정부출연	5.0	8.0	16.5	16.5	12.0	58
	공공기관						0
	민간부담	1.5	2.0	7.5	7.5	10	28.5
	합 계	6.5	10	24	24	22	86.5

4) 수소·연료전지 자동차 전기안전성 기술 연구

연구개발 목 표	○ 수소연료전지자동차의 고전압 시스템의 안전성 확립을 위한 평가기술과 제어기, 고전력부품, 센서 등 전자파에 취약한 시스템의 전자파 안전성 확립을 위한 평가기술 개발
연구개발 필 요 성	○ 현 내연기관차량과 달리 연료전지차에 적용되는 전기,전자시스템은 고전압 및 새로운 첨단 시스템을 적용하기 때문에 이에 대한 안전성 평가기술 개발 필요 ○ 연료전지시스템은 차량에 최초로 적용되어 평가되고 있기 때문에 이에 대한 새로운 안전설계기준 확보가 시급 ○ 연료전지, 고전압보조전원장치, 대용량모터로 구성되는 차량시스템의 안전기준 필요
주요내용 및 범위	○ 연료전지 스택의 전기적 특성 분석 및 평가 방안 연구 ○ 연료전지 스택의 전기 안전성 평가기술 및 검증 연구 ○ 고전압시스템 전기적 특성 분석 및 평가 방안 연구 ○ 고전압시스템 전기안전성 평가기술 및 검증 연구 ○ 고전압/고전류용 안전 배선 시스템 개발 및 안정성 평가기술개발 ○ 연료전지 및 전기전자 시스템에 대한 전자파 안전성 평가기술 개발
세부 연구 내용	○ 연료전지 스택의 전기적 특성 분석 및 평가 방안 연구 - 연료전지 스택 부품에 관한 내한, 내열 및 전기적 특성 분석 - 부품의 설계 및 특성을 고려한 위험우선순위 선정, 사고패턴 분석 ○ 연료전지 스택의 사고 모델 설정 및 재현 실험 - 절연 파괴에 의한 사고 위험성 분석 - 진동 내구 조건 및 산화물 증식에 따른 전기접촉특성 분석 및 사고 모의실험 ○ 연료전지 스택의 전기 안전성 평가 방안 연구 - 전기 안전 평가 대상, 항목 선정 및 그에 따른 기준개발 - 배관, 인클로저, 마운팅을 통한 누설 전류 기준 - 수소 유출시, 전기 안전성 평가 기준 - 화재 발생시, 연료전지 스택의 전기 안전성 평가 기준 - 전압 인가 (역전압) 시, 스택 전기안전성 평가 기준 ○ 고전압시스템 전기적 특성 분석 및 평가 방안 연구 - 전원분배 시스템, 커넥터 등 전기적 안정성 평가방안 연구 · 접지 및 격리에 대한 전기안전성 해석 및 평가 - 배터리, 수퍼캐, 모터제어기, 모터 등 대전력 구동시스템 전기적 안정성 평가방안 연구 ○ 고전압 시스템 전기안전성 평가기술 개발 및 검증 연구 - 차체 및 부품의 접지/전기적 접촉의 안전성(효율성) 평가방안 개발 - 연료전지시스템과 차량의 전기, 전자 구조물 사이의 전기적 격리기준(안) - 배터리, 모터제어기, 모터 등 대전력 구동시스템 안전성 확보방안 및 평가기술 개발 - 고전압시스템의 전기에 대한 감전 보호(안) - 고전압시스템 전기안전성 평가, 검증기술 및 안전기준(안) ○ 고전압/고전류용 안전 배선 시스템 개발 및 안정성 평가기술개발 - 고전압/고전류 배선 시스템 설계 기술 분석, 배선시스템 개발 및 전기 안전성 평가 ○ 연료전지 자동차 및 전자제어시스템 전자파환경 특성분석 - 연료전지 자동차 및 전자제어시스템 전자파특성 및 평가항목 분석 - 수소연료전지 자동차에 대한 전자파 환경 특성분석 (필드 및 차량) ○ 전자기장(방사 및 내성), 정전기, 전기적 과도 내성성능 평가기술 개발 - 연료전지 및 첨단전자시스템에 대한 전자파 성능 평가 기술 연구 - 과도전압 및 정전기 안정성 평가기술 연구 ○ 대전력 구동 시스템에 대한 저주파 평가기술 개발 - IGBT, 모터, 컨버터 등 대전력 구동시스템에 대한 노이즈 분석 및 영향 연구 - 저주파 노이즈에 대비한 대전력 구동시스템 개발 및 평가 기술 개발
추진방법	○ 산업체, 연구소, 대학의 공동연구 개발

파급효과 및 활용방안	○ 수소연료전지자동차의 안전기준(안) 및 평가시험방법(안)을 도출하여 수소연료전지차의 개발 및 보급에 기여 ○ 안전성이 확보된 수소연료전지자동차 생산으로 국내 자동차산업의 국제 경쟁력 강화 ○ 수소연료전지 자동차 국내 안전기준 재정비로 정책효율성 향상 토대 마련 ○ 국제 평가기준 확보를 통하여 통상마찰 해소 및 국가 경쟁력 제고에 기여 ○ 수소연료전지 자동차의 안전에 대한 소비자의 인식 제고로 보급 확대 ○ 향후 다양해지는 차량의 전기, 전자시스템의 안전기준 확보를 통한 개발 방향 제시						
연차별 연구개발	1년차	○ 연료전지 스택 전기적 특성분석 및 평가방안 연구 ○ 연료전지, 전원분배 시스템, 와이어 및 커넥터등 전기적 안정성 평가방안을 위한 이론적 배경 도출 ○ 연료전지 자동차 및 전자제어시스템 전자파특성 분석					
	2년차	○ 연료전지 스택의 사고모델 설정 및 재현실험 ○ 접지 및 격리에 대한 전기안전성 기준 항목 및 기준치 도출 ○ 접지/전기적 접촉의 안전성(효율성) 평가를 위한 측정 방법 및 장비 사양 도출 ○ 고전압/고전류 대응 안전 배선 시스템 설계기술 분석 및 개발 ○ 연료전지 자동차 및 전자제어시스템 전자파 평가항목 및 수소·연료전지차의 전자파 환경 특성분석 ○ 대전력 구동시스템에 대한 저주파 노이즈 영향연구 및 분석					
	3년차	○ 스택의 전기안전성 평가방안 연구: 전기안전 평가 대상, 항목, 기준 설정 ○ 충전시, 주행시, 충돌시 등 화재 및 감전에 대한 전기안전성 기준 항목 도출 ○ 고전압/고전류 대응 안전 배선시스템 전기안전성 평가 방안연구 - 고전압/고전류 대응 안전 배선시스템 1차 시제품 개발 ○ 차량내 스파크 및 정전기 해석 및 평가방안 연구 ○ 대전력 구동 시스템의 저주파 안정성 평가 방안 연구 - 저주파에 안전한 대전력 구동시스템 1차 시제품 ○ 전장품 단품 레벨의 전자장 영향분석 및 연구개발					
	4년차	○ 스택의 전기안전성 평가방안 연구: 전기누설기준 평가기준연구 ○ 연료전지시스템과 차량의 전기, 전자 구조물 사이의 전기적 격리기준 및 측정 방법 도출 및 고전압시스템의 전기에 대한 감전 보호 기준 도출 ○ 고전압/고전류 대응 안전 배선시스템 전기안전성 성능시험 결과 ○ 전자기장, 정전기, 전기적 과도 내성성능 평가결과 - 시스템레벨의 전자장 영향분석 및 연구개발 ○ 저주파에 안전한 대전력 구동시스템 저주파 안정성 성능 평가 결과					
	5년차	○ 스택의 전기안전성 평가방안 연구 - 수소누출, 화재발생, 연전압발생시 등 환경에서의 안전기준(안) ○ 전기안전성 최종 안전 기준 도출 및 평가를 위한 세부 검증기술 도출 ○ 고전압/고전류 대응 안전 배선시스템 전기안전성 평가방법 도출 ○ 고전압/고전류 대응 안전 배선 시스템 2차 시제품 ○ 전자기장, 정전기, 전기적 과도 내성성능 평가기술 개발 ○ 저주파에 안전한 대전력 구동시스템 저주파 평가 기술 도출 - 저주파에 안전한 대전력 구동시스템 2차 시제품					
연구기간 및 소요연구비	(단위 : 억원)						
	구 분	'07	'08	'09	'10	'11	합계
	정부출연	4.0	10.0	19.0	21.0	17.0	71
	공공기관						0
	민간부담	1.5	3.0	3.5	4.5	3.0	15.5
	합 계	5.5	13	22.5	25.5	20	86.5

별첨3

연구개발비 세부내역서

1) 1차년도 비목별 총괄

연구비 비목별 명세					
비 목		현금	현물	합계	구성비(%)
인건비	내부	-	-	-	
	외부	112,850	-	112,850	6.1
직접비	연구기자재 및 시설비	239,275	80,387	319,662	17.3
	재료비 및 전산 처리·관리비	203,152	70,648	273,800	14.8
	시작품 제작비	329,985	163,965	493,950	26.7
	여 비	98,037	-	98,037	5.3
	수용비 및 수수료	46,250	-	46,250	2.5
	기술정보활동비	61,050	-	61,050	3.3
	연구활동비	51,800	-	51,800	2.8
위탁연구개발비		259,000	-	259,000	14.0
간접비	간접경비	110,075	-	110,075	6.0
	연구개발준비금	11,200	-	11,200	0.6
	지적재산권 출원·등록비	6,104	-	6,104	0.3
	과학문화활동비	4,372	-	4,372	0.2
	연구실안전관리비	1,850	-	1,850	0.1
총 계		1,535,000	315,000	1,850,000	100

2) 2차년도 비목별 총괄

연구비 비목별 명세					
비 목		현금	현물	합계	구성비(%)
인건비	내부	-	-	-	
	외부	217,475	-	217,475	5.8
직접비	연구기자재 및 시설비	441,363	202,904	644,267	17.2
	재료비 및 전산 처리·관리비	388,320	157,080	545,400	14.5
	시작품 제작비	642,834	405,016	1,047,850	27.9
	여비	188,363	-	188,363	5.0
	수용비 및 수수료	89,970	-	89,970	2.4
	기술정보활동비	117,150	-	117,150	3.1
	연구활동비	99,400	-	99,400	2.6
위탁연구개발비		547,000	-	547,000	14.6
간접비	간접경비	209,725	-	209,725	5.7
	연구개발준비금	21,300	-	21,300	0.6
	지적재산권 출원·등록비	11,450	-	11,450	0.3
	과학문화활동비	7,100	-	7,100	0.2
	연구실안전관리비	3,550	-	3,550	0.1
총 계		2,985,000	765,000	3,750,000	100

3) 3차년도 비목별 총괄

연구비 비목별 명세					
비 목		현금	현물	합계	구성비(%)
인건비	내부	-	-	-	
	외부	412,300	-	412,300	6.4
직접비	연구기자재 및 시설비	801,444	322,332	1,123,776	17.4
	재료비 및 전산 처리·관리비	722,466	246,988	969,454	15.0
	시작품 제작비	986,932	690,680	1,677,612	26.0
	여비	355,775	-	355,775	5.5
	수용비 및 수수료	152,950	-	152,950	2.4
	기술정보활동비	219,450	-	219,450	3.4
	연구활동비	186,200	-	186,200	2.9
위탁연구개발비		881,000	-	881,000	13.7
간접비	간접경비	392,350	-	392,350	6.1
	연구개발준비금	39,850	-	39,850	0.6
	지적재산권 출원·등록비	19,950	-	19,950	0.3
	과학문화활동비	12,018	-	12,018	0.2
	연구실안전관리비	7,315	-	7,315	0.1
총 계		5,190,000	1,260,000	6,450,000	100

4) 4차년도 비목별 총괄

연구비 비목별 명세					
비 목		현금	현물	합계	구성비(%)
인건비	내부	-	-	-	
	외부	427,800	-	427,800	6.2
직접비	연구기자재 및 시설비	861,197	335,953	1,197,150	17.4
	재료비 및 전산 처리·관리비	765,494	255,941	1,021,435	14.8
	시작품 제작비	1,131,424	713,106	1,844,530	26.7
	여비	369,150	-	369,150	5.4
	수용비 및 수수료	164,220	-	164,220	2.4
	기술정보활동비	226,800	-	226,800	3.3
	연구활동비	192,290	-	192,290	2.8
위탁연구개발비		961,500	-	961,500	13.9
간접비	간접경비	407,100	-	407,100	5.9
	연구개발준비금	41,400	-	41,400	0.6
	지적재산권 출원·등록비	24,847		24,847	0.3
	과학문화활동비	13,800	-	13,800	0.2
	연구실안전관리비	7,978	-	7,978	0.1
총 계		5,595,000	1,305,000	6,900,000	100

5) 5차년도 비목별 총괄

연구비 비목별 명세					
비 목		현금	현물	합계	구성비(%)
인건비	내부	-	-	-	-
	외부	335,175	-	335,175	6.1
직접비	연구기자재 및 시설비	567,131	376,264	943,395	17.3
	재료비 및 전산 처리·관리비	520,845	285,816	806,661	14.8
	시작품 제작비	722,938	732,920	1,455,858	26.7
	여비	291,575	-	291,575	5.3
	수용비 및 수수료	135,160	-	135,160	2.5
	기술정보활동비	179,850	-	179,850	3.3
	연구활동비	151,510	-	151,510	2.8
위탁연구개발비		763,000	-	763,000	14.0
간접비	간접경비	321,550	-	321,550	5.9
	연구개발준비금	32,700	-	32,700	0.7
	지적재산권 출원·등록비	18,149	-	18,149	0.3
	과학문화활동비	9,710	-	9,710	0.2
	연구실안전관리비	5,707	-	5,707	0.1
총 계		4,055,000	1,395,000	5,450,000	100

별첨4

회의록 (06.11)

일시	2007. 6. 11 (월) 오후 3시~6시	장소	서울대학교 차세대자동차연구센터 (314동 204호)
참석자	민경덕, 고장혁, 이광범, 이재완		
회의사항			
n 과업지시서검토및세부과제의설정 n 수소·연료전지 자동차의 안전성 평가기술 개발을 위한 사전기획연구를 위하여 과업지시서의 연구과제 및 범위의 14개 세부과제와 자체적으로 기획한 5개 연구분야를 추가하여 4개 연구분야, 19개의 연구내용으로 초안을 작성하였음. n 제도·정책분야는 5개 연구내용, 수소안전성 확보분야는 4개 연구내용, 자동차 안전성 확보분야는 6개 연구내용, 전기안전성 확보분야는 4개 연구내용으로 분류하였음.			

회의록 (06.14)

일시	2007. 6. 14 (목) 오전 9시~12시	장소	서울대학교 차세대자동차연구센터 (314동 204호)
참석자	민경덕, 고장혁, 이광범, 이재완		
회의사항			
n 수소·연료전지자동차자문위원및연구원구성			
n 연구원 -> 서울대학교 연료전지시스템연구부 (교수 4명)			
n 자문위원 -> 4분야별 8명			
성명	근무처	직위/직책	분야
민경덕	서울대학교 기계항공공학부	교수	기획 총괄
고장혁	삼육대학교 카메카트로닉스학과	교수	제도·정책
김대광	(주)로템 기술연구소	선임연구원	전기모터 안전
김민수	서울대학교 기계항공공학부	교수	
김한상	서울대학교 기계항공공학부	BK교수	
남광희	포항공과대학교 전자전기공학과	교수	전기 안전
오형석	현대자동차 환경기술연구소	선임연구원	수소/연료전지안전
이광범	교통안전공단 자동차성능연구소	책임연구원	차량 안전(성능)
이대영	한국과학기술연구원 에너지 메카닉스연구센터	책임연구원	연료전지시스템/수소 안전
이재완	교통안전공단 자동차성능연구소	책임연구원	차량 안전(충돌)
임성한	한국기술교육대학교 기계정보공학부	교수	차량 안전(구조)
차석원	서울대학교 기계항공공학부	전임강사	

회의록 (06.15)

일시	2007. 6. 15 (금) 오후 1시~3시	장소	자동차성능연구소						
참석자	민경덕, 고장혁, 이광범, 이재완, 임성한								
회의사항									
n 자문회의 일정구성 · 수소·연료전지 자동차 정식 자문회의의 일정을 구성함. · 수소·연료전지 자동차 자문위원단을 검토함 <table><tr><th>일정</th><th>장소</th></tr><tr><td>6월 28일 (오전 9시~12시)</td><td>서울대학교 차세대자동차연구소 회의실</td></tr><tr><td>7월 18일 (오전 9시 ~ 12시)</td><td>서울대학교 차세대자동차연구소 회의실</td></tr></table>				일정	장소	6월 28일 (오전 9시~12시)	서울대학교 차세대자동차연구소 회의실	7월 18일 (오전 9시 ~ 12시)	서울대학교 차세대자동차연구소 회의실
일정	장소								
6월 28일 (오전 9시~12시)	서울대학교 차세대자동차연구소 회의실								
7월 18일 (오전 9시 ~ 12시)	서울대학교 차세대자동차연구소 회의실								

회의록 (06.28)

일시	2007. 6. 28 (목)오 전 9시~11시40분	장소	서울대학교 차세대자동차연구센터 (314동 204호)
참석자	민경덕, 김민수, 차석원, 김한상, 신재곤, 이광범, 이재완, 임성한, 김대광, 이대영,오형석, 강상규		
회의사항			
n 1차 초안인 4개 연구분야. 19개 연구내용이 6월 28일 전문가 자문회의를 개최한 결과, 4개 연구분야의 12개 연구내용으로 조정되었음			
□ 제도정책분야:4개⇒2개로조정			
n "연료전지 자동차 자료조사", "수소 및 수소혼합연료 자동차 자료조사", "안전기준 국제협력" 3개의 세부과제는 동향분석 및 국제협력 성격임 으로 통합하여 "수소·연료전지 자동차의 제도/정책 동향분석 및 안전 기준 국제조화 연구" 1개 세부과제로 하였음.			
n "수소자동차 취급요령 및 안전교육", "사고 구난시 대응 매뉴얼 연구" 와 자동차 안전성 확보분야의 "수소연료전지 자동차 폐기 관리방안 개발" 3개의 세부과제는 3년 또는 2년 과제 였으나, 과제들 성격상 다른 세부 과제들의 결과물을 활용해야 하는 것이므로 1개로 통합하고 또한 과제 수행기간도 1년으로 단축하여 "수소·연료전지자동차 안전관리, 구난 체계 및 폐기방안 선행 연구" 과제로 정리하였음.			
□ 수소안전성 확보분야:4개⇒3개로조정			
n "누출 및 충돌시험시 수소 대체물질 연구", "수소 저장 및 공급시스템 안전성평가 연구" 2개의 세부과제는 대체물질 연구가 별도의 세부과제 로 진행하는 것보다는 수소저장 및 공급시스템의 세세부과제로 진행하 는 것으로 통합하여 "차량용 수소 저장 및 공급시스템의 안전성 확립 을 위한 평가기술개발" 1개 세부과제로 하였음.			

□ **자동차안전성 확보분야:6개⇒4개로조정**

n "연료전지, 배터리, 슈퍼커패에 대한 열관리 시스템 평가방안 연구"는 연구의 당위성이 부족하여 삭제하였으며, 필요시 일부 내용은 다른 과제 반영.

n "연료전지시스템 고장진단 연구"는 과제의 성격이 유사한 "FAIL-SAFETY 모드 안전성 평가 연구"와 통합하여 "연료전지자동차 FAIL-SAFETY 모드 안전성 평가 연구" 과제로 정리하였음.

n "수소연료전지 자동차 폐기 관리방안 개발" 과제는 제도정책분야의 "수소·연료전지자동차 안전관리, 구난체계 및 폐기방안 선행 연구" 과제로 통합하였음.

n "신규 발굴과제로서 자동차 충돌사고시 발생될 수 있는 화재에 대한 안전성 평가를 연구하는 "수소·연료전지 자동차 화재안전성 연구" 과제를 추가하였으며, 화재안전성에 대한 상세한 검토를 다음 회의에 토의 예정.

□ **전기안전성 확보분야:4개⇒3개로조정**

n "연료전지, 배터리, 슈퍼커패에 대한 전기관리 시스템 평가방안 연구"는 "연료전지 및 고전압시스템 전기안전성 연구"에 통합하여 진행.

회의록 (07.12)

일시	2007. 7. 12 (목) 오전9시~오후8시	장소	서울대학교 차세대자동차연구센터 (314동 204호)
참석자	민경덕, 고장혁, 이광범, 오형석, 남광희, 강상규		
회의사항			
n 자동차 안전성 확보분야”를 “수소·연료전지자동차 안전성평가 기술개발 연구”의 연구분야 명칭으로 사용하기 부적절하다는 전문 자문위원들의 의견이 제시되어 “차량운행 안전성 확보 분야”로 명칭을 변경하였고, 연구분야는 4개, 9개 연구내용으로 조정하였음.			
□ 제도정책분야:2개⇒2개 n "수소 및 수소혼합 내연기관 성능분야 연구"의 연구분야를 “수소·연료전지 자동차의 제도/정책 동향분석 및 안전기준 국제조화 연구“에 포함하여 진행하며, 수소 및 수소혼합 내연기관에 대한 분석 및 원동기 출력 시험방법분석으로 한정하고 과제 소요예산을 재조정하였음. n "수소·연료전지 자동차 화재안전성 연구" 과제중에서 대형 충돌사고에 의한 교통사고 분석에 대한 내용을 “수소·연료전지 자동차의 제도/정책 동향분석 및 안전기준 국제조화 연구“에 포함하여 진행하는 것으로 수정하였음.			
□ 수소안전성 확보분야:3개⇒3개 n "수소·연료전지 자동차 화재안전성 연구" 과제 중에서 수소저장장치에 대한 화재 안전성 평가 등을 “차량용 수소 저장 및 공급시스템의 안전성 확립을 위한 평가기술 개발”에 포함하여 진행하는 것으로 수정하였음.			

□ 차량운행 안전성 확보분야:4개⇒2개

n "수소·연료전지 자동차 화재안전성 연구" 연구분야를 화재안전성과 관련된 내용들을 제도정책분야의 "수소·연료전지 자동차의 제도/정책 동향분석 및 안전기준 국제조화 연구"와 수소안전성 확보분야의 "차량용 수소 저장 및 공급시스템의 안전성 확립을 위한 평가기술 개발"에 분산하고 삭제하였음.

□ 전기안전성 확보분야:3개⇒2개

n "연료전지 자동차용 대용량 모터 및 제어기 안전성 연구" 연구분야를 "연료전지 및 고전압시스템 전기 안전성 연구"와 "연료전지 및 전기전자시스템 전자파 안전성 연구"에 포함하고 삭제하였음.

회의록 (07.18)

일시	2007. 7. 18 (수) 오전 9시~ 12시	장소	서울대학교 차세대자동차연구센터 (314동 204호)
참석자	민경덕, 김민수, 차석원, 김한상, 신재곤, 이광범, 임성한, 김대광, 이대영, 오형석, 강상규		
회의사항			
★ 전체자문연구원및위원들이12일도출된1차RFP를검토및수정 □제도·정책분야 n 수소·연료전지 자동차의 제도/정책 동향 분석 및 안전기준 국제조화 연구 ○ 1단계목표 - 자동차 충돌에 의한 대형사고 분석 ○ 2단계목표 수소 및 수소혼합연료 동력시스템 분석 1. 1단계의 주요 연구내용 □ 외국의 연료전지 자동차 안전관련 법규 동향 및 실용화 분석 ○ 일본 (도로운송차량법, TRIAS), 미국 (FMVSS, SAE), 유럽 (ECE, ISO) ○ 일본 (JARI, JHFC), 미국 (CaFCP, DOE, DOT), 유럽 (아이슬랜드, 독일) □ 자동차 충돌에 의한 대형 사고 분석 ○ 대형충돌사고 및 화재사고 분석 A. 2단계의 주요 연구내용 □ 수소 및 수소혼합 연료 자동차 안전관련 법규 및 실용화 분석 ○ 일본, 미국, 유럽, ISO ○ 북미 : 미국, 캐나다 Cummins Westport □ 수소 및 수소혼합연료 동력시스템 분석 n 수소·연료전지자동차 안전관리, 구난체계 및 폐기방안 선행연구			

- 수소·연료전지 자동차 제작시 사용되는 유해물질

□ 수소안전성 확보분야

n 수소 저장 및 공급시스템 안전성 평가 연구

- 수소시스템의 폭발에 의한 탑승객 및 외부에 미치는 영향 분석
- 수소 저장 및 공급시스템에 대한 안전기준(안) 및 평가방법(안) 작성

□ 자동차안전성 평가분야

n 수소·연료전지자동차 안전기준 부합성 평가 연구

1. 1단계 주요 연구내용

- 수소·연료전지 자동차의 안전기준 적용성 분석
 - 안전기준 개정항목 선정
 - 수소·연료전지 자동차관련 안전기준 개정 로드맵 및 개정방안 수립
 - 연료전지 자동차 연비 측정 방법관련 평가
 - ISO/AWI 23274, 23828-1, 23829-1

2. 2단계 주요 연구내용

- 수소·연료전지 자동차의 안전기준 부합성 평가
 - 수소·연료전지 자동차 각 안전시험 항목별 평가 및 분석
 - 안전기준 시험항목 : 1, 2, 3, 15, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 31, 35, 41
 - FMVSS(미국), ECE(유럽), 보안기준(일본)
 - 수소·연료전지 자동차 각 안전시험 항목별 시행세칙 확립
 - 안전기준 시험항목 : 1, 2, 3, 15, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 31, 35, 41
 - FMVSS(미국), ECE(유럽), 보안기준(일본)
- 안전기준(안) 및 평가방법(안) 도출
 - 각 항목별 안전기준(안) 및 평가방법(안) 작성 및 반영
 - 안전기준 시험항목 : 1, 2, 3, 15, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 31, 35, 41
- 수소·연료전지 자동차의 신규 시험항목 도출
 - 신규 시험항목 발굴을 위한 로드맵 수립

- 화재안전성, 고전압안전성, 수소안전성, FAIL-SAFETY 등

n 수소·연료전지자동차 안전기준 부합성 평가 연구

1. 1단계 주요 연구내용

☐ 연료전지 시스템의 잠재적 위험요소 분석

○ 전기적 충격, 절연 파손시, 화재시, 차량 충돌시

○ 연료전지 시스템의 FAIL 감지 선행 연구

- FAIL 발생시 시스템 특성 변화 분석

- FAIL 발생 시나리오 판별 및 감지방안 연구

2. 2단계 주요 연구내용

☐ 연료전지 FAIL 발생시 안전성 평가기술 연구

○ 연료전지 시스템 모니터링 기술

○ 차체의 절연확보 대책

○ 연료전지 FAIL 발생시에 안전성 확보 대책

☐ 제어계통 이상시 FAIL-SAFETY 모드 분석

○ FAIL-SAFETY 모드의 작동조건, 제어로직, 대응 전략 등 Power Control, 배터리, 중요 센서, 수소공급라인

☐ 전기안전성 확보분야

n 연료전지 및 고전압시스템 전기 안전성 연구

1. 1단계 주요 연구내용

○ 대전력 구동 시스템의 전기적 안정성 평가방안 연구

2. 2단계 주요 연구내용

☐ 고전압 시스템 전기안전성 평가기술 개발 및 검증 연구

○ 연료전지 차량용 보조전원장치의 전기관리시스템 평가기술 개발

○ 대전력 구동 시스템 안전성 확보방안 연구 및 평가기술 개발

회의록 (08.21)

일시	2007. 8. 21 (화) 오후 2시~4시	장소	한국건설교통기술평가원 (3층 2회의실)
참석자	민경덕, 이광범, 고장혁, 윤갑성, 최도형, 유영성, 이광호		
회의사항			
★ 한국건설교통기술평가원에서 구성한 자문위원님들이 본 과제 RFP를 검토 □ 이광호자문위원 - 수소·연료전지자동차 안전성 평가기술 개발에 232억의 예산은 그 내용에 비해 큰 금액임. - 수소·연료전지자동차 R&D에 대한 투자가 안전성평가기술개발에 대한 투자보다 더 중요. - 수소·연료전지자동차를 시장에서 받아들일지 의문. - 수소의 생산에 대한 인프라도 없음 - 독일, 아이슬란드는 수소·연료전지 버스가 다니고 있지만, 안전기준이 없음. □ 유영성자문위원 - 수소·연료전지자동차 개발에 더 많은 재원이 투입되어야 함. - 안전성기준은 수소·연료전지자동차 개발이 이루어진 후에 개발되어야 함. - 실패없는 과제이므로, 예산을 좀 더 낮게 편성해야 함. □ 최도형자문위원 - 어떤 제품을 어떻게 공급받아서 실험을 할 것인지, 실험에 사용된 제품이 나중에 실제로 상용화될 제품인지 고려해보아야 함. - 안전기준을 개발하는 과제라고 했지만, 그 과제내에 R&D가 포함되어있지			

않나 타부처의 R&D사업과 중복되는 것을 피해야 함.

□ 김태희실장

- 타부처사업과의 중복성이 배제되어야 함.
- 과제는 필요성이 있고, 좋은 과제이며, 시기적으로 적절한지 검토해야 함.
- 예산이 큰 편이고, 한 번에 5년 연속으로 하지말고, 1, 2단계로 나누어서 해야 함.

□ 윤갑성사무관

- 수소·연료전지자동차가 있기 때문에, 안전기준이 마련되어야 함.
- 현재 수소충전소 4군데, 올해에 2군데 더 설치가 되지만, 자동차관련법규가 하나도 없음.

□ 민경덕교수

- 환경부와 산자부는 수소인프라쪽 R&D를 추진하고 있고, 건교부는 차의 안전성기준을 마련해야 함.
- 본 과제에서 수소·연료전지자동차를 개발하기 때문에 예산이 많이 드는 것임.
- 이미 중복성은 배제되었고,세부 연구내용별로 보면 연구내용별 액수는 큰 것은 아님.
- 기간이 빠른 것인지 여부는 타부처의 수소·연료전지과제와 조율을 해야 함.
- 자문위원단의 의견을 최종보고서(RFP)에 반영되도록 노력할 것임.

별첨 5

서명부 (06.11)

[별지 10-1호]

참석자 서명부

소 속	직 급	성 명	연락처	서 명	지 급 계 좌 (해당시 기재)	비 고
서울대	교수	민정우	1861	민정우	—	
삼육대	교수	고장하	011-3842-5548	고장하	농협 207070-52-066305	
자율개선대학	재직자	이재원	011-9067-2844	이재원	농협 207113-52-044793	
"	학원	이광선	010-4320-3040	이광선	농협 207022-52-022857	

정밀기계설계공동연구소장 귀하

서명부 (06.14)

[별지 10-1호]

참석자 서명부

소 속	직 급	성 명	연락처	서 명	지 급 계 좌 (해당시 기재)	비 고
서울대	교수	민경덕	880-1661	민경덕		
심육대	조교수	고장현	011-8842-5548	고장현	농협 207070-52-066309	
자율치생물연구원	책임	이광백	010-4370-3040	이광백	농협 207022-52-028854	
자율치생물연구원	책임	이재원	011-9067-2844	이재원	농협 207113-52-044793	

연구지원소장 귀하

서명부 (06.15)

[별지 10-1호]

참석자 서명부

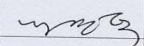
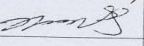
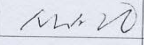
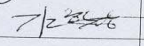
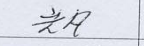
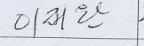
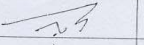
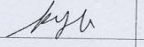
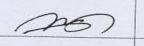
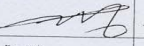
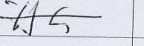
소 속	직 급	성 명	연락처	서 명	지 급 계 좌 (해당시 기재)	비 고
서울대	교수	민경덕	1661	민경덕		
삼육대	조교수	고장현	011-9842-5548	고장현	동해 207070-52-066309	
가톨릭대	책임	이재완	011-9063-3804	이재완	동해 207113-52-044993	
"	책임	이광선	010-4390-3640	이광선	동해 207022-52-028857	
한국기술교육대	조교수	윤성현	011-234-1239	윤성현	국민 042-24-0199944	

정밀기계설계공동연구소장 귀하

서명부 (06.28)

[별지 10-1호]

참석자 서명부

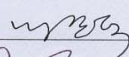
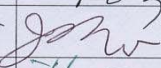
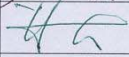
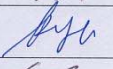
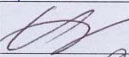
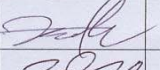
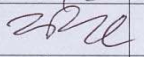
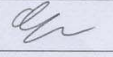
소 속	직 급	성 명	연락처	서 명	지 급 계 좌 (해당시 기재)	비 고
서울대	교수	민경덕	880-1861			
"	"	김민수	850-8362		x	
과학기술연구원	책임	신재호	011-328-4629			
서울대	진료이사	하성진	880-1700		x	
서울대	BK교수	김관삼	880-1705		x	
과학기술연구원	책임	이광범	410-4370-3040		농협 207022-52-028857	
"	책임	이재환	011-9063-2804		농협 207113-52-004793	
한국기술교육대	교수	임성현	011-234-1239		국민 040-24-0199944	
서울대	박사과정	강상규	011-9505-5141		x	
로엔	선임	김대광	016-757-5403		우리 307-07-085786	
KIST	책임	이재영	011-386-5014		우리 254-013016-12-003	
한국전자	선임	이재호	018-243-1881		농협 207070-56-005822	

정밀기계설계공동연구소장 귀하

서명부 (07.12)

[별지 10-1호]

참석자 서명부

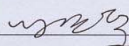
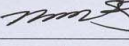
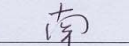
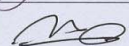
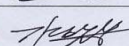
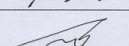
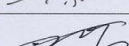
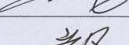
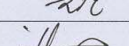
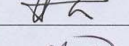
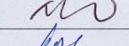
소 속	직 급	성 명	연락처	서 명	지 급 계 좌 (해당시 기재)	비 고
서울대	교수	민경덕	1661			
삼육대	교수	고장혁	011-3542-5548		농협 207070-52-066309	
현리차	선임	이희숙	018-243-1881		농협 207070-56-005822	
차량사업소	책임	이광백	016-4396-3040		농협 207022-52-028857	
서울대	박사과정	강상규	011-9505-5191			
서울대	박사과정	방정환	010-8533-9494			
서울대	박사과정	김성민	017-358-6449			
서울대	박사과정	조준희	011-7361-3558			
서울대	박사과정	임지현	010-8331-6559			
포항공대	남양화 교수	남양희	016-8032218			

정밀기계설계공동연구소장 귀하

서명부 (07.18)

[별지 10-1호]

참석자 서명부

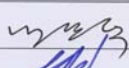
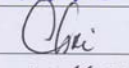
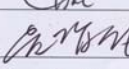
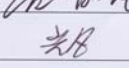
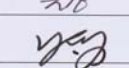
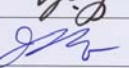
소 속	직 급	성 명	연락처	서 명	지 급 계 좌 (해당시 기재)	비 고
서울대	교수	민경덕	1861			
서울대	교수	김민수	02-880-8362			
포항공대	" "	남강희	016-803-2218			
삼육대	교수	고장현	011-9942-5544			
로렐	선인	김대영	016-757-5403			
서울대	박교수	김환삼	02-880-1705			
한국기독교총대	교수	원선진	011-224-1239			
KIST	책임	이대영	011-380-5674			
카톨릭대	책임	이광범	010-4390-3040			
한국과학기술원	책임	이대영	010-243-1881			
한국과학기술원	책임	이대영	016-323-4629			
서울대	박사과정	강상규	011-930-5191			

정밀기계설계공동연구소장 귀하

서명부 (08.21)

[별지 10-1호]

참석자 서명부

소 속	직 급	성 명	연락처	서 명	지 급 계 좌 (해당시 기재)	비 고
서울대	교수	민경덕	980-1661			
과학기술정책연구원	부연구위원	이광호	2284-1882			
KAIST	교수	리도형	011-452-3018		우리은행 KAIST 270-005706-02-001	
전남고용부	사무관	윤갑성	011-706-5304			
교통안전공단	책임	이광현	010-4390-3040			
한국전력연구원	책임	유명성	017-208-3667		농협(주) 478-02-003602	
삼육대	조교수	김장영	011-9942-5548			

정밀기계설계공동연구소장 귀하