

## 수소 · 연료전지의 안전 및 추진방향

그간 대표적인 에너지원인 화석연료는 대기환경 오염과 자원의 고갈이라는 문제점이 있어 이를 해결하고 대체하기 위해 친환경적 에너지시스템인 수소·연료전지에 대한 기술개발이 추진되었다. 이러한 차세대 수소에너지 시스템인 수소·연료전지의 실용화를 실현하기 위해서는 무엇보다도 기술개발과 연계된 안전성 확보가 필요하다. 본고에서는 국내외의 수소·연료전지 분야에 대한 안전연구 현황과 그에 따른 한국가스안전공사의 [수소·연료전지 안전성 연구] 과제의 추진방향을 제시하고자 한다.

김 영 규

한국가스안전공사 수소DME연구팀 (ygkim@kgs.or.kr)

### 국외의 수소연료전지 안전

#### 미국

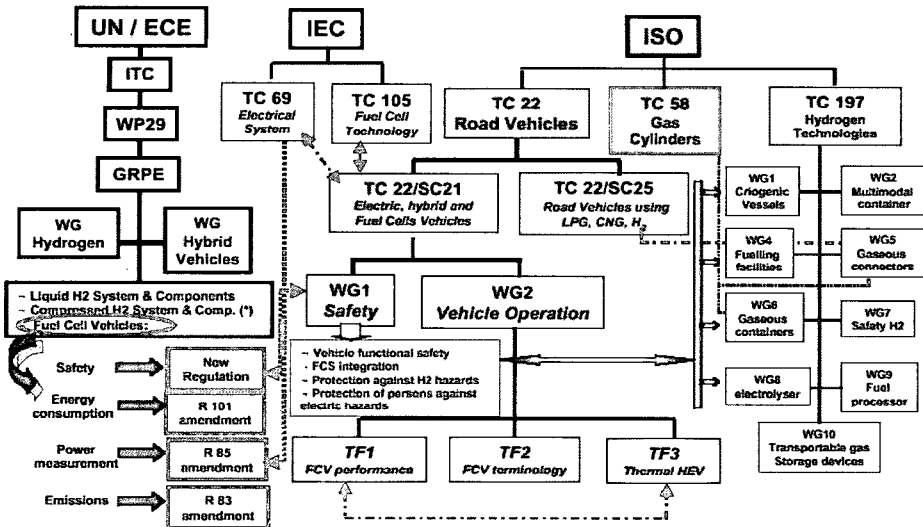
DOE에서 실시하고 있는 수소·연료전지 관련 기술 개발사업과 안전성 연구를 통합한 것이 DOE 수소 프로그램이며 HFCIT(Hydrogen, Fuel Cells and Infrastructure Technologies Program)이 핵심 프로그램이다. 구체적 연구 분야는 수소의 제조, 수송, 저장, 연료전지, 기술 실증, 교육, 규격·기준, 안전, 시스템 통합·분석의 9개 분야이다. 이 중 기준, 안전, 교육 부분에서는 2010년까지 수소연료전지 자동차의 세계적 기술규격 도입을 완료하고, 안전에 관한 핸드북을 출판하며, 수소 경제와 연료전지 기술에 관한 포괄적 교육을 실시한다는 것이다. 이를 위해 PNNL(Pacific Northwest National Laboratory)의 Hydrogen Safety Program을 통해 Emergency Response Training and Education을 2004년부터 수행하고 있다. 또한 수소안전 교육 인프라 구축과 수소안전 교육과 교육을 위한 사이트를 운영하고 있으며 Hydrogen Safety Center 구축을 위한 프로그램을 진행하고 있다. 안전을 위한 핸드북으로는 Guidance for Safety Aspects of Proposed Hydrogen Projects를 출간하여 안전지침으로 사용하고 있으며 현재도 수정·보완 중에 있다. DOE의 대표적인 안전분야 연구 사례로는 “Model building codes for hydrogen

applications 개발”, “수소누출 시나리오에 대한 연구”, “수소충전소, 수소자동차 연료장치 기준 개발”, “수소사용처에 대한 안전성 검토” 및 안전교육 등이 있으며, 2006년도 미국의 안전연구 분야에 대한 예산은 13백만 달러에 이른다.

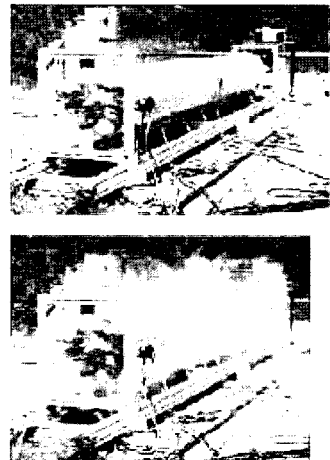
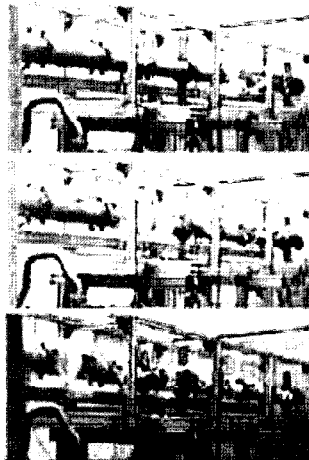
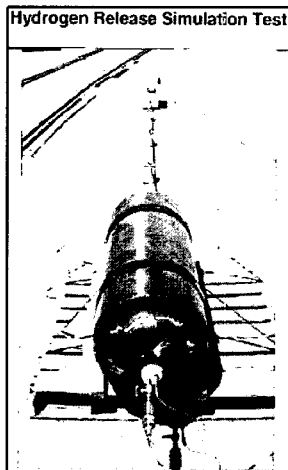
수소연료전지 자동차에 대한 안전연구는 실증연구와 동시에 이루어지고 있으며 현재 수행되고 있는 실증 프로젝트로는 캘리포니아 지역의 CaFCP(California Fuel Cell Partnership) 프로젝트가 있다. 수행기간은 2004년부터 2007년이며, 현재는 연료전지승용차 65대와 버스 5대가 참여하고 있으며 2007년 말까지는 승용차와 버스의 합계가 300대, 수소충전소 26개소에 대한 실증연구가 수행될 예정이다. 이러한 수소·연료전지 안전연구를 위해 적용되거나 개발된 기준은 다음과 같다.

- NFPA 50A “Standard for Gaseous Hydrogen Systems at Consumer Sites”
- NFPA 50 B “Standard for Liquefied Hydrogen Systems at Consumer Sites”
- SAE J2600 “Standard for Compressed Hydrogen Surface Vehicle Refueling Connection Devices”
- SAE “Recommended Practice for General Fuel Cell Vehicle Safety”
- ANSI/CSA “America FC1 American National Standard for Stationary Fuel Cell Power Systems”

# International Landscape of Vehicle-Specific Regulations and Standards



[그림 1] 수소연료전지자동차 관련 규정 및 규격



[그림 2] 수소가스의 누출 및 화재시험

## 일본

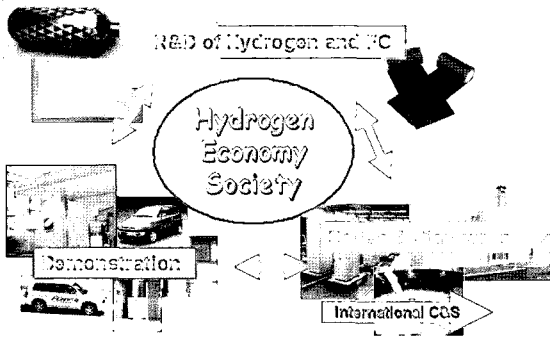
일본은 NEDO(New Energy and Technology Development Organization) 주관으로 '수소안전이용 등 기술개발사업'을 통해 수소연료전지에 관한 안전연구를 수행 중에 있다. 세부적으로는 고압수소

용기 및 연료전지자동차의 안전, 수소 인프라(수소 충전소 등)의 안전, 고정식 연료전지의 안전성 연구로 나뉘어 연구되고 있으며, 그 외 수소기초물성, 수소용 재료 기초물성 연구, 수소용 알루미늄재료 기초연구 및 열전대식 수소센서 연구개발 등이 기업과



연구조합 등에서 위탁연구로 수행되고 있다. 수소 · 연료전지 자동차에 관련해서는 일본 Tokyo 수도권 및 Aichi Expo지역의 JHFC(Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project)를 진행하고 있다. JHFC 프로젝트에서는 완성차메이커 실증시험 계약차 13대와 행정부, 지방자치단체 및 에너지기업 등에 리스 판매된 연료전지승용차 4대 등 누계합계 56대의

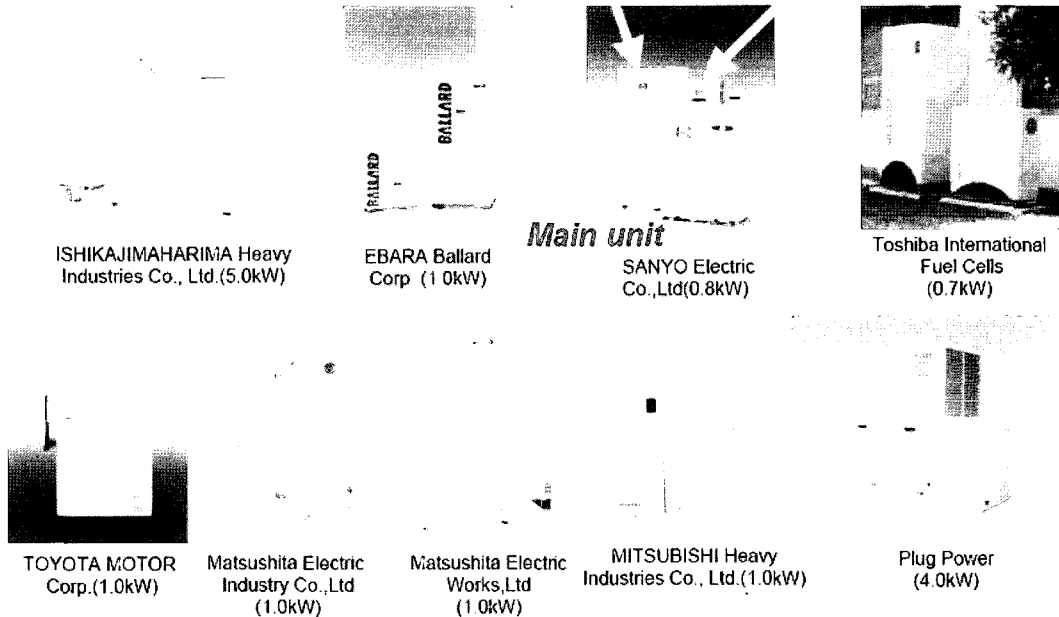
승용차와 Toyota/Hino FCHV-Bus2 2대의 버스가 참여중이며 Aichi Expo 프로젝트에는 FCHV-Bus2 8대가 참여중이다. 수소충전소는 Tokyo 등 수도권 지역에 10개소, Aichi Expo 지역에 2개소가 설치되어 사용중이며, Japan Petroleum Energy Center를 중심으로 수소충전소의 안전성에 관한 연구가 이루어지고 있다. 이러한 수소 · 연료전지의 안전연구를 위해 사용되거나 개발된 기준은 고압가스보안법상의 연료전지 자동차 및 수소용기의 안전성 관련 8개 항목, 수소인프라(수소충전소 등)의 안전성 관련 8개 항목, 고정식 연료전지의 안전성 관련 5개 항목에 대한 규제검토 요청으로 이루어졌다.



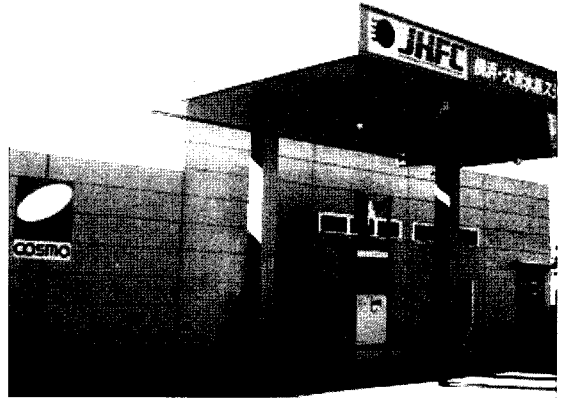
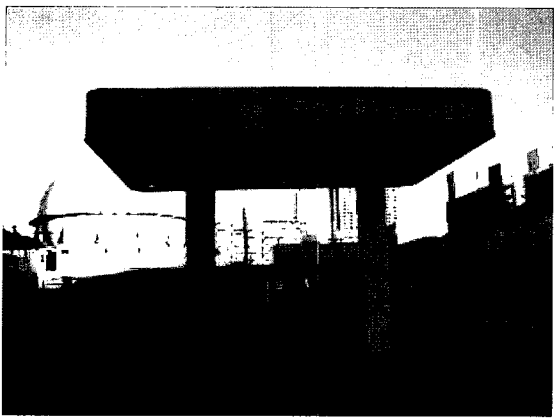
[그림 3] 일본의 수소경제사회 개념도

- 고압가스보안법
- JARI S 001 “압축수소자동차 연료장치용 용기의 기술기준 - 350기압 용기”  
※ 현재는 700기압 용기에 대한 기준작성 작업을 수행 중임
- JIA F 035-04 “고체고분자형 연료전지 검사규정”
- JIS C XXXX “소형 고체고분자형 연료전지시스템의 안전기준”

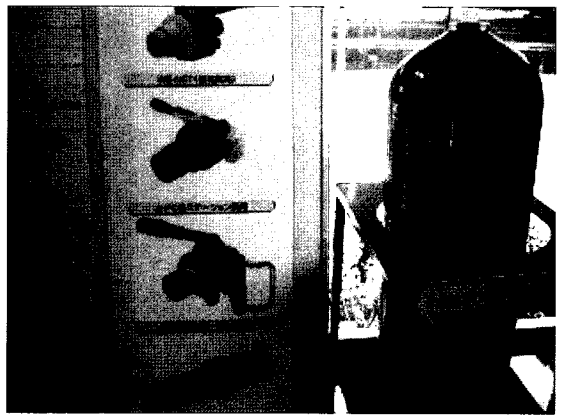
Hot water tank Inverter



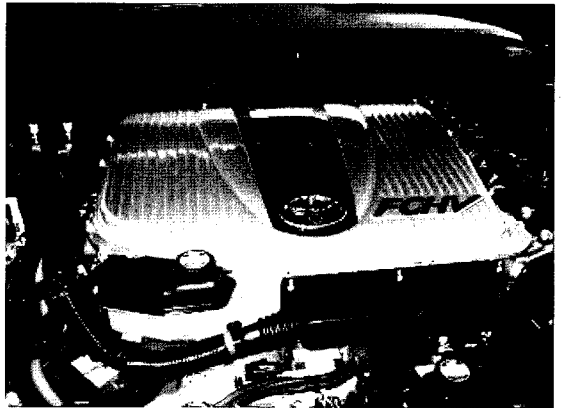
[그림 4] 일본의 연료전지시스템



[그림 5] 요코하마 및 센주 수소충전소



[그림 6] 수소충전기 노즐 및 초고압 수소저장 용기



[그림 7] 수소연료전지자동차 및 내부



**유럽**

유럽의 대표적인 안전성 연구는 HySafe-The European Network of Expertise for Hydrogen Safety 프로젝트로서 2004년 3월에 시작되어 2009년까지 수행될 계획이다. 이 연구는 유럽 12개국(독일, 프랑스, 노르웨이, 영국, 네덜란드, 스페인, 덴마크, 그리스, 이탈리아, 폴란드, 포르투갈, 스웨덴)과 캐나다에서 25개의 파트너가 참여하는 것으로 700만 유로가 투입되었으며 100명의 연구원이 참여중이다.

IPHE(International Partnership for the Hydrogen Economy)에서는 HyApproval, HyLights, HyWays 3개의 협력 프로젝트를 통해 실증 연구와 안전성 연구를 수행하고 있다. HyApproval은 수소충전소의 안전

성 확보를 위해 적용하는 지침서 작성을 위한 프로젝트이며 HyLights는 수송용 수소 이용에 대한 실증 프로젝트이다. HyLights의 일환으로는 HYFLEET: CUTE - Hydrogen bus project, HYCHAIN - Hydrogen vehicles project, ZeroRegio - Hydrogen cars project 등의 세부 프로젝트가 진행 중에 있다. 또한 수소 생산과 이용을 위한 인프라를 구축하고 로드맵을 작성하기 위한 것으로 Roads2Hycom, HyWays 등의 프로젝트가 수행되고 있다.

EIHP(European Integrated Hydrogen Project)는 Phase 1이 성공적으로 완료되어 현재 Phase 2가 진행 중이며 WP5 부문에서 수소 · 연료전지 안전성에 관한 연구가 이루어지고 있다.



[그림 8] 유럽의 수소충전소



[그림 9] 수소연료전지자동차 및 내부

이 외에도 네덜란드에서는 FC-SAM project를 통해 Safety Study for the Fuel Cell System의 안전성연구가 2004년 1월부터 진행 중이며 수소연료전지 자동차의 실증연구인 CEP(Clean Energy Partnership) 프로젝트가 독일 Berlin지역에서 16대의 자동차가 참가하여 수행 중에 있다.

### 국내의 수소연료전지 안전

#### 현안 안전과제

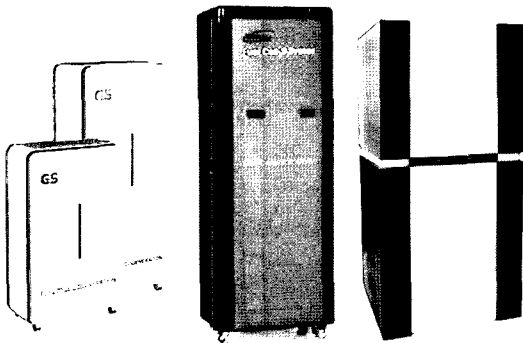
현대자동차에서는 수소연료전지 자동차를 개발하여 시험·실증 단계에 있으나, 수소연료전지 자동차의 운행 및 성능평가 등에 필요한 수소 인프라, 특히 수소충전소가 절대적으로 부족한 실정이다. 그 동안 현대자동차, 한국가스공사, 한국에너지기술연구원, SK에서는 수소충전소를 건설 또는 건설중에 있으나

관련 법령의 미비에 따른 인허가로 어려움을 겪고 있다. 수소연료전지 자동차에 부착하는 초고압의 수소저장용기에 대한 검사기준이 없어 외국제품을 연구용 한도로 사용중에 있다.

연료전지는 퓨얼셀파워, GS퓨얼셀, 삼성중합기술원 등에서 1 kW급 가정용 연료전지 시스템을 개발하여 출시하였고, 추가로 3 kW급, 5 kW급 등의 스택에 대한 실증연구를 실시한 바 있으며, 발전용의 경우 5 kW급, 250 kW급을 한전과 포스코에서 자체 기술로 개발중에 있다.

국내의 경우 국산화를 위한 기술개발과 아울러 개발제품에 대한 모니터링 단계에 있으나 이들 수소시스템의 설계, 성능인증, 설치검사, 유지관리 및 안전 교육 등에 대한 인프라 및 규격이 미비한 상태여서 실용화 지원을 위한 제도마련이 필요한 실정이다. 따라서 이들 관련 기준을 조기에 개발·보급하여 수소 활용시스템의 생산·보급 및 설치단계에서 차질이 발생하지 않도록 미리 대비하는 것이 중요하다.

수소·연료전지시스템에 대한 인증과 검사시스템 관련해서는 선진외국의 인증기관인 JIA(일본), CSA Int.(미국), Gastec Certification BV(네덜란드) 등과 기술교류 협력을 통해 적용 규격, 대상 품목, 인증 및 비용, 시험장비 및 소프트웨어, 전문인력 교육 등에 대한 세부적인 비교검토를 통하여 국내 실정에 적합한 기준제시가 필요하며, 향후 해외수출의 확대 및 수입 등을 감안하여 상호인증 및 협력협정 등 제도적인 시스템을 구축하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.



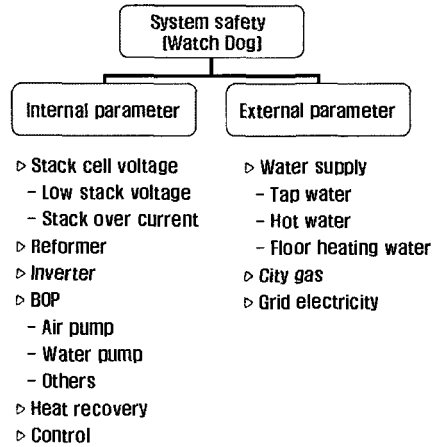
[그림 10] 국내 가정용 연료전지시스템



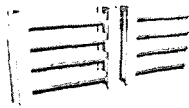
[그림 11] 현대 수소연료전지자동차



[그림 12] 한국에너지기술연구원의 수소충전소



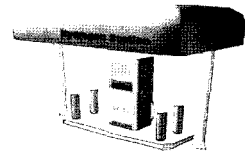
[그림 13] 연료전지시스템의 안전이슈



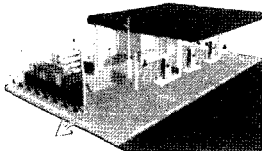
- Corrosion
- Leak
- Overpressure



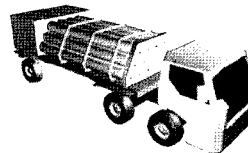
- Overheat
- Overpressure
- Compressibility



- Fueling Velocity
- Nozzle Standard
- Material



- Plottage
- Safety Distance
- Site Design



- Corrosion
- Leak
- Accident

[그림 14] 수소충전소의 안전이슈

### 안전연구 추진방향

국내에서 수소 · 연료전지 관련의 애로사항으로 나타난 문제점을 효율적으로 해결하면서 안전 인프라의 저변을 확대한다는 차원에서 “수소 · 연료전지 안전성 연구”를 한국가스안전공사에서 추진하게 되었으며, 본 사업의 핵심적인 중요 연구아이템을 소개하면 다음과 같다.

- 연료전지시스템의 안전성 평가, 인증검사 및 설치 안전기술

- 수소연료전지차량 연료공급시스템의 안전성 평가 및 인증검사기술
  - 수소충전소의 안전성 평가 및 안전거리 등 안전관리기술
  - 수소 제조, 저장, 이송 시스템의 안전기술
- 현재 산업계, 학계, 연구소 등의 관련분야 전문가로 협의체를 구성하여 상호 정보를 교환하고 실제 산업현장의 의견을 수렴하고 있으며, 사업이 진행되면서 보다 바로 현장에 적용이 가능한 실용적인 결

과들을 도출하고자 노력하고 있다. 우리공사에서 추진하고 있는 “수소·연료전지 안전성 연구”의 연차별 목표를 소개하면, 첫째년도엔 「수소에너지 활용 기기 및 시설에 대한 평가시스템의 구축으로 안전기반을 확대」, 둘째년도에는 「수소에너지 활용 설비의 안전장치 등 안전성 평가 및 평가기법을 구축」하며, 셋째년도에는 「수소에너지 활용 시스템에 대한 성능 평가 방안의 도출 및 관련 안전기준의 제도화 추진」 등이 있다.

수소에너지의 이용과 실용화를 위해서는 관련 시스템에 대한 기술개발과 아울러 국가 차원에서 필요한 안전기준을 개발하고, 개발된 기준을 업체에 제공함으로써 국민이 사용하기에 안전한 제품을 만들어야 하고, 이를 보급하여야 한다. 그러기 위해서는 초기에 안전관리에 대한 기반을 확대 조성해 가면서

정착시키는 것이 무엇보다도 중요하다. 이의 일환으로 한국가스안전공사에서는 수소에너지 관련 안전연구를 추진하게 되었고, 연료전지, 수소연료전지 자동차, 수소충전소분야에 대한 연구를 중점적으로 추진하고 있어 향후 국가 차원의 종합적 안전관리가 가능하게 될 것이다. 특히 이러한 연구를 통하여 우리는 궁극적으로 ① 수소 활용의 기기와 시설의 안전성 향상 및 안전사고 예방, ② 수소 안전기준 제공 및 관련 부품의 공용화 기반 구축, ③ 수소 활용 기기 및 시설에 대한 평가기술력 확보로 국가 경쟁력 제고, ④ 수소 안전관리분야의 국제적인 종합적 안전관리체계의 조기 구축 등의 효과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 중·장기적으로는 수소경제를 앞당기는데 기여할 수 있을 것이다. ㉓