

세계의 수소에너지 기술개발 현황

박의승, 김홍성, 장희진
(주)대우건설

The Present World Technology Development for The Hydrogen Energy

Eui-Seung Park, Hong-Sung Kim, Hee-Jin Chang
DAEWOO E&C CO., LTD.

1. 서론

전세계적으로 대기오염, 지구 온난화 등 환경문제는 이미 인류 생존을 위한 중요한 이슈로 되어있고, 평균 26조원 정도를 에너지 수입에 지출하는 우리나라는 지속되는 고 유가 등으로 인하여 가장 우선적으로 신 에너지를 찾아야만 하는 상황이다. 이에 부응하여 정부에서도 2006년에는 총 에너지 사용량의 2%를 대체에너지로 보급한다는 목표를 설정하여 대체에너지 기술개발과 보급 확산 사업 등을 강력하게 추진할 예정이다.

에너지원 이용 추세로 보면, 산업혁명 이후 석탄, 석유 등 탄소가 많은 연료로부터, 탄소가 1인 천연가스로 변화하고 있으며, 또 다른 에너지원인 원자력은 그 사용과정이나 사용 후에도 방사능오염에 대한 문제점이 야기되고 있으므로 21세기에는 탄소가 없는 수소가 가스 연료로서 각광을 받을 것으로, 즉 점차 전기와 가스등을 근간으로한 에너지 이용 체제로 변화하여 갈 것으로 보고 있다. 그러나 당분간 화석연료가 아닌 에너지원으로부터 값싼 수소의 제조기술개발은 기대하기 어려운 형편이므로 현재로서는 화석연료의 공급이 부족 되기 시작하는 21세기 중반부터 이들의 가격상승과 더불어 경제성이 확보될 것으로 전망되고 있다. 그러나 화석연료의 지속적인 사용에 따른 지구온난화 문제가 가시화 될 경우에는 화석연료의 사용제한이나 탄소세 등의 문제가 구체화되어 의외로 빨리 에너지시스템이 대체에너지를 근간으로 하는 수소에너지 체계로 전환될 수도 있을 것이다.

수소에너지 관련 기술들은 미국, 일본, 독일 등의 몇몇 선진국에 의해 주도적으로 연구와 개발이 이루어지고 있다. 본고에서는 당사와 교류가 되고 있는 일본의 회사로부터 입수된 WE-NET program 관련 자료 소개를 중심으로 기존에 알려진

세계의 수소에너지 관련 기술의 현황을 살펴보고 우리 나라의 현황과 향후 나아갈 방향을 제안하고자 한다.

2. 일본의 수소에너지 프로그램 (WE-NET Program)

일본정부(통상산업성 산업과학기술청)는 1993년 기존의 선샤인 프로그램(신에너지기술 연구개발계획, 1974 ~ 1991년 동안 수행), 문라이트 프로그램(에너지절약기술 연구개발계획), 환경기술 연구개발 프로그램의 3부문을 통합하여 새로운 에너지/환경기술 연구개발계획인 뉴 선샤인 프로그램(New Sunshine Program)을 시작하였다. 이 가운데 수소에너지기술 연구개발 계획(Japanese Hydrogen Program)인 WE-NET(World Energy Network)이 있으며, 일본은 이 WE-NET을 중심으로 수소와 관련되는 모든 국책연구사업(민간관련 포함)을 수행하고 있다. 이 계획은 1993년부터 2020년까지 28년간에 걸쳐 25억불을 투자하여 수행될 예정이며, 연구개발기간은 모두 3단계로서, 이미 1단계 연구개발 기간을 마치고 2단계 연구개발 기간에 들어가 있는 상태이다.

수소이용 국제 클린에너지 시스템기술로 불리는 이 프로그램은 세계적인 과제인 에너지문제와 지구환경문제를 근본적으로 해결하기 위한 대규모 프로젝트로서, 수력, 태양광, 지열, 풍력 등 재생 가능한 에너지를 이용하여 효율적인 수전해 기술로 값싼 수소를 생산하고, 액체수소 등의 형태로 변환하여 수송 저장 후 환경오염물질을 배출 없이 수소연소터빈을 이용한 발전이나 각종 기술을 조합하여 세계적 규모의 수소이용 네트워크를 구축하기 위한 연구개발이다.

프로그램은 다음의 세 단계로 이루어져 있다.

1단계 (1993 ~ 1998) : 핵심 기술의 조사, 기초 기술의 기초 연구 및 개발

2단계 (1999 ~ 2005) : 파일럿 규모의 공장이 1단계에서 개발된 기초 기술을 이용하여 건설될 것이다.

3단계 (2006 ~ 2020) : 개발될 실제 기술에 근거하여 본 시스템을 실제 사용하도록 전개하기 위하여 시연 공장이 국제 규모로 건설될 것이다.

본고에서는 1, 2단계를 중심으로 살펴보도록 하겠다.

2.1. 프로젝트 1단계

1993년부터 1998까지의 1단계는 수소이용기술을 중심으로 하고, 출력 500MW급, 에너지효율 60%이상의 수소연소터빈, 에너지 변환효율 90% 이상의 고체고분자 전해질 수전해법(PEM법)에 의한 수소제조, 용량 300톤/일 규모의 수소액화설비,

수송량 20만 m^3 급 탱커, 액체저장량 5만 m^3 급 저장시스템, 분산수송 및 저장용 수소저장합금, 액체수소 온도 수준의 저온재료, 2000 $^{\circ}C$ 급 고온재료 등의 개발에 관하여 필요한 기초적 기술확립을 위한 조사 및 요소연구를 총 9가지의 소 과업으로 분리하여 실시했다.

액체 수소 저장 설비의 연구는 크게 두 개의 R&D 항목으로 분류되어 있는데 첫 번째로 대 규모 액체 수소 저장 전체 시스템의 설계에서는 유사한 저온 액체 저장 시스템의 현재 기술(LNG Receiving Terminal의 선적장비, 기화, BOG 처리, 반송 가스 장비, 배기 가스 처리 등), 현존하는 액체 수소 저장 시스템(재료, 공정 그리고 현장에서의 X-선 검사를 고려한 최대 실제 판 두께 50mm, 내부 압력을 0.5 MpaG로 가정하면 현재 가능한 최대 수소저장용량은 16,000 m^3 임), 이중 저장 탱크와 지하 암반 저장 탱크의 주변 기술(액체 누설 방지의 안전과 고내진 설계의 특징, 대용량/보안/안전 저장에 유리)에 대하여 조사하였다. 두 번째로 대량 액체 수소 저장 설비의 연구에서는 수소 저장 탱크의 열 보온 재료 및 구조를 조사하였다. 펄라이트 진공 보온 저장 탱크는 사이트 면적이 허용되는 경우 상대적으로 안정된 성능과 우수한 작업성 때문에 대용량에 사용된다. 다른 한편으로 복 층 진공 보온 저장 탱크는 열 손실을 최소화하는 능력과, 열 보온 면적과 열용량 면에서 작은 용량에 사용된다. 현존 액체 수소 저장 탱크 중 일본에서 제일 용량이 큰 것은 타네가시마 우주 센터에 있는 540 m^3 짜리 이고 일본 밖에서는 NASA의 J.F. Kennedy 우주 센터에 있는 3,218 m^3 의 것으로 펄라이트 진공 보온을 갖춘 세계에서 제일 큰 탱크이다.

상기 조사결과들을 가지고 비 진공 보온 형식으로써 구조 강도의 관점에서 실현 가능한 액체 수소용 대용량 탱크의 개념 설계를 실시하였는데 액화 공장, 탱커와 발전소의 잠정적인 상호 연관 조건에 기초하여 저장 탱크의 시방은 다음과 같이 설정되었다; 저장 능력 50,000 m^3 , 저장 압력 0.02MpaG, 그리고 목표 열 보온성은 0.1%/1day로서 국내 LNG 저장 탱크의 시방과 동일하다.

넓은 범위에 걸쳐 저온 액체 저장의 현재 기술을 검토하여 대 규모 액체 수소 저장 시스템에 현 기술을 적용하는 경우의 문제점을 추출하였으며 여러 가지 열 보온 구조를 가진 대 용량 액체 수소 저장 탱크의 개념 설계를 수행하여 저장 탱크 구조 강도의 면에서 실현 할 수 있는 치수를 구했다. 2단계에서는 대 용량 액체 수소 저장 탱크의 설계에 필요한 보온 재료 및 구조의 기초 실험을 수행할 것이다.

이 프로젝트는 일반 기업체가 공동으로 참여하여 그 시너지효과를 높이고 있다. 우리나라에서 정책 수립시 고려되어야 할 사항이라고 생각된다. 일본에서 참여한 업체로는 가와사키 중공업, 미쓰비시 중공업, 이시카와지마-하리마 중공업, 이와타니 산업 주식 회사, NKK 사, 수미토모 금속 광산 주식 회사, 코베 스틸과 오바야시 회사 등이다.

2.2 프로젝트 2단계

1999년부터 2005년까지 수행될 2단계 프로젝트는 파일럿 규모의 공장이 1단계에서 개발된 기초 기술을 이용하여 건설중이다. 본고에서는 수소 공급 스테이션 및 수소 자동차 시스템, 액체 수소 운송 저장기술이 2단계에서 어떻게 개발되고 있는지를 살펴보겠다.

(1) 수소 공급 스테이션 및 수소 자동차 시스템의 개발

제2기 연구 개발에서는 수소 자동차에 대한 연료공급을 목적으로 '수소 공급 스테이션 기술을 개발'함과 아울러 이와 제휴해서 '수소 자동차 시스템 개발'에서 수소 흡장 합금 탱크 시스템 기술 개발을 진행하고 있다. 수소 공급 스테이션으로는 천연가스 개질형(도시가스 인프라스트럭처 이용가능, 수소 코스트가 싸다) 및 고체 고분자 전해질 수전해형(오프 피크 전력의 이용, 수분간 기동이 가능하고 조작성이 좋다), 이 두 방식을 개발 대상으로 했다. 수소 자동차에 대한 수소 연료의 탑재방식은 수소 흡장 합금 탱크 시스템을 개발 대상으로 했다.

수소 공급 스테이션의 개발은 수소 자동차에서의 연료 공급을 목표로 하는 Stand-alone 타입의 수소 공급 스테이션의 요소 기술 및 시스템 기술을 확립하기 위해서 실용 규모의 수소 공급 능력의 1/10 정도에 상당하는 $30\text{Nm}^3/\text{h}$ 의 소규모 시험 시스템의 개발, 실증을 실시한다. 2000년도에는 수소공급 스테이션의 상세설계, 수소 공급 스테이션의 각 구성 기기의 제작, 수소 공급 스테이션의 기술 지침 검토 등을 수행했다. 개질형이 2001년 10월, 수전해형은 2001년 12월 수소 공급 스테이션 완성에 즈음하여, 2001년도에 시스템의 상세설계, 주요 기기의 상세설계, 제작이 진행될 것이다.

천연가스 개질형 수소 공급 스테이션의 실증 시험을 위해 토후가스는 연료 전지 자동차(FCEV)용 수소를 천연 가스로부터 제조하는 수소 스테이션 기술개발에 착수했으며 자사의 종합 기술 연구소 내에, 수소 스테이션용으로는 일본 최초가 되는 수소제조 장치를 완성했으며 향후 수소 제조와 FCEV에 공급하기 위한 기술개발을 실행해 조기 실용화를 목표로 하고 있다. 수소제조 장치의 능력은 시간당 40M^3 , 하루 FCEV 30대를 충전할 수 있을 것으로 보이며 7M^3 의 수소 탱크 외에 10M^3 , 2M^2 의 저장 능력을 보유한 흡장합금 탱크를 갖출 예정이다. 장치 면적은 제조, 저장을 합쳐 약 140M^2 이며 투자비용은 약 1억 1000만엔에 달할 것으로 보인다. 오사카 가스 부지내등 2개소에서 실증시험이 시작될 예정이다.

고체 고분자 전해질 수전해형 수소공급 스테이션의 실증 시험을 위해 (주)시코쿠 종합 연구소 구내(코미츠시 야지마 니시초; 18m x 25m)에 2000년도에는 정지까지 수행했으며 일본 산소 주식회사는 1999년부터 상세 설비를 실시하여 각 유니트 제작을 했다. 흡장 합금에 저장해서 연료 전지 자동차로 공급하는 계통과 압축기에서 압축해서 고압 저장 용기에 저장한 후 연료 전지 자동차에다 공급하는

계통의 2계통으로 이루어졌다. 수소 제조 능력은 실용규모의 1/10 정도인 30Nm³/h이다. 저장한 수소는 각각 수소충전 계량부를 거쳐서 흡장 합금 탑재차 또는 고압 가스용기 탑재차에 공급된다.

수소 자동차 시스템의 개발은 수소 공급 스테이션으로부터의 공급을 고려한 수소 연료 전지 자동차의 연료계 시스템의 요소 기술 개발을 실시한다. 수소흡장 합금 탱크에 대한 급속 충전 조건의 검토를 했으며 합금의 종류에 따라 냉각 조건이 다르므로 각종 합금 및 탱크 구조를 폭넓게 선택하여 충전조건, 탱크 구조의 최적화를 목적으로 하는 충전 시험을 해서 데이터 축적을 꾀했다. 또 수소 공급 스테이션과 조합시킨 기술실증을 2001년도 후반에 실시할 수 있도록 개발한다. 2000년도에는 급속 충전법의 개발, 사고시 수소 흡장 합금 탱크의 안전성을 평가하기 위한 시험을 실시, 안전성 확보를 위한 시험방식, 기준 등에 대해 검토했다.

수소 자동차 급속 충전법의 실증을 위해 1/25 스케일의 미니사이즈인 MH 탱크를 시작으로, 1Nm³의 수소를 10분 이내에 급속 충전하는 시험을 실시했으며 수소흡장 합금 탱크의 안전성 평가를 위해 알미늄제 실체 탱크를 써서 차량 충돌시를 상정했고 낙하/낙추시험, 내화시험, 누출수소의 연소 상황 시험을 실시했다. 이 실험으로 수소가 폭발한다는 것이 없고, 안전한 연료임이 드러났다. 하지만 압축가스 탱크에 관해서는 한층 고압화가 진행됨이 예상되며, 또한 액체수소의 이용에 대해서도 최근 활발한 움직임이 보인다.

(2) 액체 수소 운송 저장기술의 개발

수소를 대규모로 운송 저장할 형태로는 저장 효율 면에서 액체 수소가 유리하다고 보고 WE-NET에서는 액체 수소 운송저장 기술의 개발을 장기 테마로 잡고 3개의 태스크로 나누어 활동하고 있다. 각 태스크들을 좀 더 자세히 알아보도록 하겠다.

태스크 1 [액체 수소 운송 저장 설비의 개발]의 목표는 액체 수소 탱크(용량 200,000m³, 증발량 0.2%-0.4%/day), 저장탱크(용량 50,000m³, 증발량 0.1%/day)로 보이는 각종 단열 구조체를 검토, 그 단열 요소 시험관 단열재의 저온 압축가동 시험을 실시하며 액체 수소의 운송 저장 설비의 설계에 있어서 유효하게 활용할 수 있는 데이터 베이스를 완성시키고 아울러 안전성/경제성에 관한 검토를 하는 것이다. 액체 수소 스테이션용 소 용량 액체 수소 운송 저장(용량 20m³ 전후) 시스템도 검토한다. 2000년도의 실증으로는 각종 단열체의 단열 성능시험을 실시하고 있으며 고체 진공(상압) 단열재의 저온 압축 시험도 시행중이다.

태스크 2 [공통 기기류의 개발]의 목표는 제1단계에 이어서 대 용량, 고 양점 액체 수소 펌프의 요소 시험을 실시하여 연속 안정 운전이 가능한 방법을 확립하는 것이다. 2000년도의 실증으로는 대 용량, 고 양점 액체수소 펌프의 운전에서 33,000rpm, 36,000rpm 정격운전을 지향해서 테스트 운전을 진행한다.

태스크 3 [수소액화 설비의 개념설계]의 목표는 300ton/day 수소액화설비의 고효율 수소 원심 압축기의 개념설계를 실시하며 여기에 필요한 수소압축기 등의 예비 시험도 합쳐서 실시하는 것이다. 소 용량 수소 액화 설비(1~30ton/day)에 대해서도 고효율 설계를 실시, 특히 고효율 압축기, 고효율 팽창 터빈을 중심으로 검토한다. 2000년도의 실증으로는 압축기에 원심식을 채용한 경우를 종래 용적형 압축기와 비교 검토했다.

3. 독일의 SWB(Solar Wasserstoff Bayern) 프로젝트

Bavaria 주정부는 1986년에 태양-수소에너지 시스템기술을 개발하는 SWB프로젝트를 발족시키고 서부터 기술개발을 적극적으로 지원하고 있다. 이 프로젝트는 태양-수소에너지를 이용하기 위하여 태양전지, 수전해에 의한 수소 제조, 저장, 이용 등 일관된 시스템기술 연구와 기기 개발을 수행하고 있다. 시설내용은 연간 80,000Nm³의 수소를 제조하며, 30기압 5,000Nm³ 용량의 고압 저장탱크와 3,000L의 액화수소저장탱크를 설치하였다.

Bavaria 주정부는 1995년부터 공항 내에서 사용하는 버스와 소형차등을 수소자동차로 대체하는 계획을 발족시켰다. 1999년까지 버스 3대, 미니버스 16대, 수리용 차량 16대, 특별차량 6대를 도입하였다.

4. 캐나다의 수소 및 연료전지 프로그램 (CHFCP)

캐나다의 수소 및 연료전지 프로그램(CHFCP)은 1970년대 말에 시작됐다. CHFCP는 CANMET 에너지 기술센터에서 맡고 있다. 다른 연방정부부서나 기관들이 수소 및 연료전지기술개발에 기여하고 있다. 기타 부서와 기관의 연구비용이 포함되지 않은 NRCan의 순 예산은 최근에 연간 약 600만 달러에 이른다. 이 프로그램에서 가장 주목할 만한 2가지 성과는 전기분해기의 물 전기분해기술과 Ballard의 PEFE 기술발전에 있다.

또한 EQHHPP계획은 EU각국과 캐나다와의 공동프로젝트로서 1986년부터 1998년까지 실시되었던 대표적인 수소프로그램이다. 이 계획은 캐나다에서 100MW의 수력발전에 의한 전력으로 수소를 16,000톤/년 생산하고, 유럽으로 해상 수송하여 에너지로 이용하는 것을 목적으로 한 것이다. 대량수송은 가능하지 못했지만 자동차/항공기/선박/제철 분야 등에서 수소이용기술의 개발을 수행하고, 수소자동차는 독일에서 1996년부터 도시 버스로 사용하는 등의 성과를 거두었다.

5. 미국의 수소에너지 개발 계획 (Hydrogen Program)

미국에서의 수소에너지 기술개발은 1990년 “Spark Matsunaga 수소법”이 성립된 후, 1992년 DOE의 “Hydrogen Program”이 책정되고서부터 본격적인 기술개발이 시작하게 되었으며 연 평균 1,800만불을 투자하고 있다. 현재 DOE는 단기(2005년 0.5Q/년, 석유 5,400만 배럴 해당), 중기(미국에서 판매되는 자동차의 25%를 수소자동차로 한다.), 장기(2050년 10Q/년)로 나누어 수소 도입량 계획을 설정하고, HTAP(Hydrogen Technical Advisory Panel)와 산업계, 학계의 협력을 얻어 그 실현을 도모하기 위한 연구개발을 추진하고 있다.

Chicago시 버스로서 3대의 수소연료전지 버스(Ballard사 제조, 캐나다)가 1997년에 운행 개시되었고 Augusta시 버스로서 수소엔진 하이브리드bus(WH-Blue Bird Body사 제조)가 1997년에 운행을 개시하였다. Nevada주에서는 수소에너지 등을 이용하는 Clean City 계획이 검토되고 있다.

6. 국내 연구 현황

우리 나라에서는 수소에 관한 연구가 1970년대 말부터 관련 기초연구가 시작되었으며, 1989년 과기처의 지원으로 한국에너지 기술연구소가 총괄하여 수소에너지 관련 기초연구를 대학 및 연구소에서 공동으로 수행하였으나, 1단계의 연구지원으로 마감되었으며, 이후 관련 연구소에서의 중장기 연구계획에 따른 연구가 수행되고 있다. 정부에서는 2006년에 총 에너지 사용량의 2%를 대체에너지로 보급한다는 목표를 설정하여 국책연구개발사업으로 추진하는 고효율 수소제조 기술개발사업에서 2000년부터 2004년까지 1단계 3년(요소기술 개발), 2단계 2년(실증)등 총 5년간에 걸쳐 정부투자 60억, 민간 20억원의 투자가 이루어질 사업을 통하여 광촉매를 이용한 수소제조기술개발, 태양광 이용 생물학적 수소제조기술개발, 금속산화물계 열화학적 사이클에 의한 수소제조 기술개발에 대한 연구가 수행되고 있다. 실용화라는 측면에서 보면 용접 또는 절단용의 수전해에 의한 수소가스발생기나 연료 전지용 수소제조 장치 등이 일부 보급되어 있고, 실험실 가스 크로마토그래피 분석기용 수소제조 장치 등이 실용화 가능 수준에 이르고 있다.

7. 결론

불과 25년전, 1974년 3월 미국에서 수소 에너지에 대한 최초 국제회의(THEME conference)가 열리고, IAHE(국제수소에너지협회)가 설립되기 전에는 에너지 대체로서의 수소에 대한 투자가 거의 없었으나 현재에는 미국, 일본, 오스트레일리아에 이르기까지 18개의 수소 전담기관이 있다. 그러나 당분간 화석연료가 아닌 에너지원으로부터 값싼 수소의 제조기술개발은 기대하기 어려운 형편이므로 현재로서는 21세기 중반부터 경제성이 확보될 것으로 전망되고 있다. 그러나 지구

온난화 문제, 화석연료의 사용제한, 탄소세, 최근의 중동사태 등의 문제가 구체화 되어 의외로 빨리 대체에너지를 근간으로 하는 수소에너지 체계로 전환될 수도 있을 것이다.

앞서 서술한 바와 같이 선진국들은 이미 수소자동차, 버스, 수소 공급 스테이션, 수소액화, 운송, 저장 등에서 실증을 거쳐 실용화를 눈앞에 두고 있으나 우리나라는 아직까지 기초연구 수준을 벗어나지 못하고 있는 실정이다. 천연가스의 경우 일본에 비해 약 20년 정도 늦게 도입되어 아직까지도 설계등 원천기술은 외국에 의존하고 있으며, 이 대로라면 수소에너지 역시 똑같은 기술 종속국이 될 것이다. 우리나라는 수소와 비슷한 초저온 연료인 천연가스가 도입된 지 약 15년에 이르며 30여개 이상의 지상 및 지하 저장탱크와 3개의 인수기지를 운영 및 공사 중에 있다. 당사를 포함한 각 회사와 연구소의 축적된 노하우를 이용한다면 수소에너지에 대한 접근도 훨씬 유리 할 것이다.

수소는 이제 막연한 에너지원이 아니다. 국가 차원에서 실용화까지 염두에 둔 보다 적극적이고, 거시적인 정책이 절실할 때이다.

8. 참고 문헌

- 1) M. Murase, "WE-NET(World Energy Network)를 위한 R&D 계획", 국제 수소 및 청정 에너지 심포지엄 (1995)
- 2) K.Fukuda, "WE-NET 프로젝트에서의 현 R&D 활동", 국제 수소 및 청정 에너지 심포지엄 (1995)
- 3) "수소 연소 터빈의 타당성 검토에 대한 보고서", 일본 엔지니어링 발전 협회 간행 (1993년 3월)
- 4) A.Iwata · S.Kamiya · E.Kawagoe, "WE-NET에서 액체 수소 대량 저장의 기술적 발전", 가와사키 중공업 주식회사 (1999)
- 5) 하마 토시오, "수소 공급 스테이션 및 수소 자동차 시스템의 개발", 재단법인 엔지니어링 진흥협회 (2001)
- 6) 사라네요시카즈, "수전해형 수소 공급 스테이션 개발", 일본 산소 주식회사 (2001)
- 7) 카미야 쇼지, "액체 수소 운송 저장기술의 개발", 카와사키 중공업(주) (2001)
- 8) 김종원, "수소에너지 개요", 고효율 수소제조기술사업단소식지 (2001년 3월 제1호)
- 9) 심규성, "수소에너지 이용기술개발과 전망", 가스산업위크숍 (2000)
- 10) Internet 자료, <http://www.h2energy.kier.re.kr/h2energy>