

천연가스 개질형 30 Nm³/hr 급 수소스테이션 연구개발 현황

이 영철¹⁾, 조 영아, 박 달영, 최 정환, 김재동, 송택용, 조병학,
김동혁, 이증성, 오영삼, 홍성호

Current Progress of Development of 30 Nm³/hr Scale Hydrogen Refueling Station with Natural Gas Reformer

Youngchul Lee, Youngah Cho, Dallyoung Park, Chunghwan Choi, Jaedong Kim, Taekyong Song,
Byounghak Cho, Donghyeok Kim, Jungsung Lee, Youngsam Oh, Sungho Hong

Key words : Steam reformer(수증기 개질), Hydrogen station(수소스테이션), Natural gas(천연가스)

Abstract : 수소는 청정에너지로서 미래에너지의 대안으로 여겨지고 있기 때문에 수소 에너지 관련 기술은 미래 국가 경쟁력을 좌우할 것으로 예상되며, 이러한 수소에너지의 핵심인 수소스테이션 관련 기술은 국가연료전지 시장을 비롯한 수소자동차 산업 전반에 커다란 영향을 미칠 것으로 예상되고 있다. 이에 따라 전세계적으로 수소에너지를 차세대 에너지원으로 개발하기 위하여 전력을 다하고 있으며, 수소연료전지자동차 개발과 아울러 수소스테이션 개발에 대한 인프라 구축 및 실증연구가 본격적으로 이루어지고 있다. 국내에서도 가스공사를 비롯한 에너지 관련 기업에서 수소스테이션 건설이 추진되고 있으며, 본 연구에서도 수소인프라 구축의 일환으로 추진되고 있는 수소스테이션 개발 현황에 대하여 논의하고자 한다.

1. 서 론

수소에너지는 미래의 청정에너지원으로서 환경친화적인 연료로서 주목을 받아왔지만 수소의 특성과 저장에서의 문제점으로 인하여 이용에 있어서 제한을 받아왔다. 그러나 최근 환경문제가 대두되고 앞으로의 수소의 주요활용분야가 될 연료전지 보급이 가시화됨에 따라 그러한 문제점을 해결하려는 노력들이 이루어지고 있으며, 수소가스에 대한 대규모 수요가 예상되고 있다. 이러한 수소에너지의 주요 생산 방법으로는 천연가스, 석유, 석탄 및 증질잔사유 등의 화석연료와 바이오매스 등의 탄화수소를 이용한 생산기술과 풍력, 태양열 및 원자력을 이용한 물분해 수소제조 기술, 생물 광분해, 광합성 및 발효성 박테리아에 의한 유기화합물 광분해, 유기화합물 발효 등에 의한 생물학적 수소생산기술 등으로 구분할 수 있다. 이들 수소생산 기술 중 최근의 고유가 및 환경문제와 관련하여 CO₂ 발생이 없는 풍력, 태양열 및 원자력을 이용한 물분해 수소제조기술

등과 같은 대체에너지 이용기술에 대한 연구가 진행되고 있으나, 기술의 특성상 에너지 공급이 간헐적이거나, 국지적이기 때문에 아직까지 경제성 확보가 어려우며 상용화를 위한 기술개발 노력과 시간이 요구되고 있다. 반면, 화석연료를 이용한 수소생산기술은 천연가스, 나프타 및 액화석유가스(LPG)와 같은 고급탄화수소 연료를 이용한 개질과 석탄, 증질잔사유, 폐기물 및 바이오매스와 같은 저급 탄화수소 연료의 가스화를 통한 방법 등이 있다. 이와 같은 기술들 중에서 수소 제조기술은 수소제조를 위한 주반응기 이외에 탈황, CO₂ 분리공정, 수성가스 반응기(water-shift reactor), H₂ 분리 및 정제 등 추가적이고 복잡한 공정이 필수적으로 요구된다.¹⁾ 그 중에서 천연가스를 이용한 수소제조 방법은 탄소수 대비 수소수가 가장 높으므로 다른 제조

1) 한국가스공사 연구개발원 수소연료전지연구개발
E-mail : leeyc@kogas.re.kr
Tel : (032)810-0331 Fax : (032)810-0404

봄에 비하여 가격이 저렴하며, 또한 수소연료전지 자동차의 주행에 따른 이산화탄소 배출량(자원의 채취, 전환, 수소를 포함)은 휘발유차의 약 41%, 디젤자동차의 약 57%로 감소한다. 이와 같은 점에서 도시가스 파이프라인이 이미 갖추어진 도시에서는 이러한 천연가스 개질에 의한 수소제조 방식이 효율적이며, 환경부하의 감축에 기여할 것으로 사료된다. 그리고 천연가스는 기존 화석연료에서 세계적으로 가장 많은 매장량을 나타내며, 특히 우리나라의 경우에도 기존 배관망을 활용하여 현지에서 직접 수소제조가 가능하다는 점에서 운반에 필요한 에너지의 손실이 없기 때문에 과도기적으로 수소제조원으로 가장 적합하다고 판단된다. 필요한 때 필요한 만큼의 양의 수소를 수소스테이션 현장에서 제조할 수 있으므로 수소를 트레일러 등으로 운반할 필요가 없으며, 다량의 수소를 저장할 필요도 없다. 또한 Fig. 1은 한국가스공사의 전국배관망도를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 한국가스공사 인천생산기지내에 천연가스로부터 직접 수증기 개질 방식으로 수소를 제조하는 수소스테이션 건설에 대한 기술개발 현황을 기술하고자 한다.

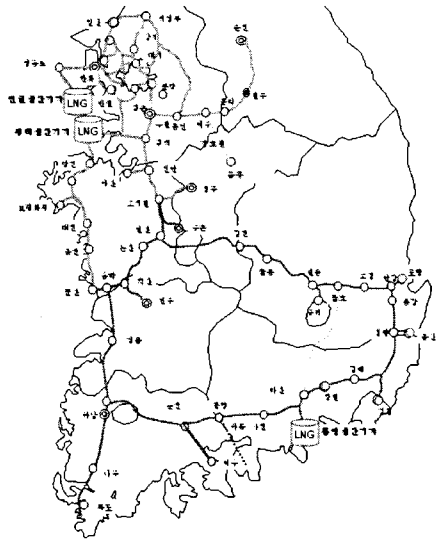


Fig. 1 The Diagram of KOGAS's natural gas pipeline

2. 국내·외 기술동향

2.1 국외 현황

세계적으로 수소스테이션을 구축하여 실증을 위한 프로젝트가 수없이 많이 진행되고 있으며, 2006년 현재 대략 150여개소가 운영될 것으로 예

측하고 있다.²⁾ 일본, 미국, 독일 및 캐나다를 중심으로 물전기분해, 천연가스 또는 여러 탄화수소를 원료로 하는 수소스테이션 프로젝트가 진행중에 있으며, 미국에서는 다수의 수소스테이션 프로젝트가 진행중에 있으며, 2005년까지 총 24개의 수소스테이션을 건설하는 캘리포니아 연료전지 파트너쉽(California fuel cell partnership)이 1999년부터 시작하여 현재 2007년까지 진행될 것이다. 이와 별도로 미국에서는 캘리포니아 수소고속도로 프로젝트(California Hydrogen Highways)는 2010년까지 200여개의 수소스테이션을 건설한다는 계획을 수립하여 진행되고 있으며, 14개 수소스테이션을 건설할 예정인 Air Quality Management District(AQMD) 등 수소인프라 구축에 박차를 가하고 있다. 반면에 유럽에서는 초기에 미국과 더불어 수소에너지의 강국으로 부상했던 독일은 전체 스테이션 보유량에서 14%를 차지했지만 2005년도에는 전혀 신규 수소스테이션 건설이 전무한 실정이다. 그 외 다른 유럽 국가들 영국, 스웨덴, 프랑스 등 16개국이 수소스테이션을 가동 또는 건설 중인 것으로 분석된다. 그렇지만 미국이나 일본에 비해 수소인프라 구축에 소극적인 모습을 보이고 있다. 아시아 지역은 일본 한국, 싱가포르, 중국 등 8개국이 가동 또는 건설 중에 있다. 그 중 경제대국인 일본은 미국보다 10년가량 뒤진 2001년에야 처음으로 자국내에 수소스테이션(혼다자동차 건설)을 건설했지만 이후 3년간 집중적인 투자와 지원을 단행하여 지금은 전세계 국가중 3번째로 많은 수소스테이션을 보유하고 있다. 그리고 2010년까지 도쿄를 비롯한 3대 대도시에 5백개소의 수소스테이션을 건설하려는 계획을 가지고 있다. 이어 2020년까지 서비스 지역을 주요대도시로 확대하여 수소스테이션을 3500개소로 늘리고 최종적으로 2030년에는 일본 전체에 총 8500개소의 수소스테이션을 설립할 계획이다.

2.2 국내 현황

국내에서는 자동차메이커인 현대기아자동차가 자사가 개발한 수소자동차의 연구를 위해 2001년 5월에 경기 화성에 건설한 정지형 수소스테이션이 처음이다. 그리고 과학기술부 산하 고효율수소에너지제조·저장·이용기술개발사업단에서 추진중인 사업에서 한국에너지기술연구원(KIER)에 설치 예정인 수소스테이션이 두 번째라고 할 수 있다. 그리고 산업자원부에서 주관하는 수소연료전지 사업단에서 실시하고 있는 3개의 기술개발 사업에 의해 서로 다른 연료에 의한 수소스테이션 건설 및 실증 사업이 진행되고 있다. 그 중 한국가스공사는 2006년 8월에 완공을 목표

로 수행하고 있는 사업에 대한 전반적인 진행에 대해 다음에 서술하고자 한다.

3. 수소스테이션 일반 사항

수소스테이션은 설계하기 위해 외국사례를 위주로 하여 가스원료를 사용하는 수소스테이션을 분석·검토하여 규격 결정하였다. 결정된 규격은 30 Nm³/hr 급의 수소스테이션으로 천연가스 개질 방식으로 연료전지 자동차에 350 bar로 충전이 가능하며, 저장장치의 용량은 72 kg으로서 구성하도록 하였다. 그리고 140 L 용기를 갖는 승용차에 350 bar로 12분 동안에 충전하도록 하며, 700 L 용기를 갖는 버스의 경우에는 350 bar로 30분안에 충전하도록 설계되었다.

수소스테이션 설치 부지를 선정하는데 있어서 관련법규는 2005년 4월 14일에 제정된 “수소자동차 연구개발용 수소 자동차충전소의 시설기준 및 기술기준 등에 관한 특례기준”의 제 4장에 있는 “고정식자동차충전소에 관한 시설기준 및 기술기준”에 명시된 고압가스안전관리법 시행규칙에 의거해서 선정되었다. 물론 설치 장소에 대한 안전성 평가를 실시하여 주위에 설치된 또는 설치될 설비에 대한 안전여부를 판단하는 평가를 실시하였다.

3.1 수소스테이션 구조

이때 수소스테이션은 Fig.2에 나타난 것과 같이 크게 4부분으로 구분할 수가 있다. 첫 번째는 천연가스와 물이 들어가 수소와 일산화탄소 등으로 이루어진 합성가스로 반응하는 개질장치와 이것을 고순도 순수 수소가스로 분리하는 Pressure Swing Adsorption(PSA)인 분리장치, 그리고 고순도 수소 가스를 저장하는 저장장치와 350 bar 또는 700 bar로 수소연료전지 자동차에 수소가스를 주입하는 디스펜서로 이루어져 있다. 이때 저장된 고순도 수소가스의 규격은 캘리포니아 연료전지 파트너쉽(CaFCP)에 의거하여 최소 99.995% 이상이어야 하고, 일산화탄소의 함량은 최대 1 ppm이하로 관리되어야 하며, 황(S) 성분은 최대 50 ppb이하로 관리되어야 한다.

이때 저장 압력은 수소 연료전지자동차에 350 bar로 공급하기 위해서는 그 이상의 압력인 약 450 bar까지 견디는 저장탱크에 저장되어야만 한다. 그리고 저장시 3단의 캐시캐드 타입으로 고순도 수소가스를 저장하여야 한다. 그리고 고압의 수소 저장탱크에서 수소연료전지자동차에 공급하는 디스펜서의 경우에는 자동차와 상호 커뮤니케이션이 될 때와 그렇지 않을 때에 서로 충전이 되어야 하고 충전속도는 서로 다르게 관리되

어야 한다.³⁷⁴⁾

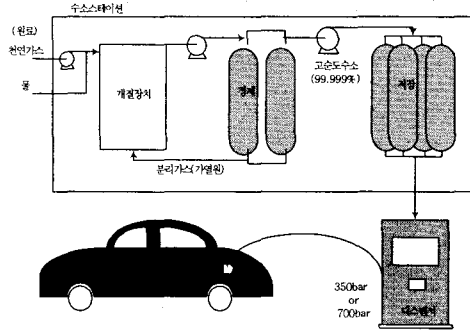


Fig. 2 The Constitution of Hydrogen Station

3.2 수소스테이션 공정 흐름도

수소스테이션은 천연가스를 사용하여 수증기 개질 방식으로 합성가스를 생산하는 방식으로 이루어져 있다. 천연가스는 탈황기(Desulfurizer)에서 부취제가 제거되며, 원료로 사용되는 이 천연가스는 스팀과 같이 개질반응기(Steam Reformer)에서 합성가스를 만들어지고, 이 합성가스의 수소전환율을 증가시키기 위해 water-gas 전이 평형으로 만들기 위해 전이 반응기(Shift Reactor)로 들어가고, 그리고 이 합성가스는 스팀 발생기(Steam Generator)에 들어가 열교환이 이루어지며 공정수가 스팀으로 발생된다. 스팀발생기를 통과한 합성가스는 응축수 분리기(Condensate Separator)에서 응축수 분리되고 나머지 합성가스를 Pressure Swing Adsorption(PSA)에서 고순도 수소 가스가 분리되어 중간 저장탱크에 저장되고 압축기에 의해 저장탱크에 저장된다. 이 PSA에서 고순도 수소가스 이외의 나머지 가스는 Tail Gas라하여 다시 개질기로 보내 반응기의 연료로 사용된다.

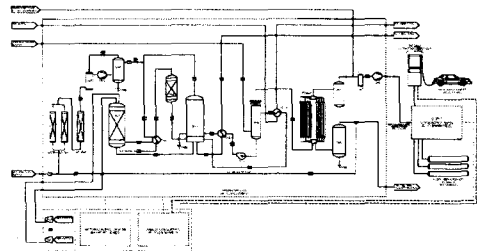


Fig. 3 Process Flow Diagram

4. 향후 계획

현재 수소스테이션 건설공사와 각종 유틸리티에 대한 기반공사가 동시에 이루어지고 있으며, 각 공정장치에 대해서는 단위별로 공정이 진행중에 있다. 향후 건설공사가 완전히 이루어지고 수소스테이션 시운전이 실시될 것입니다.

References

- [1] Kothari R, Buddhi D, Sawhney, R.L. Source and Technology for Hydrogen Production: a Review. Int. J. Global Energy Issues 2004;Vol.21;No.1/2:154-178
- [2] <http://www.fuelcelltoday.com>
- [3] Julia A, Valle F, Dominguez J, Wolff, G. The Hydrogen Refuelling Plant in Madrid: 2004 International Gas Research and Conference, November 1-4, 2004, Vancouver, Canada. Association Publishers.
- [4] Takumi T, Takaaki A, Toyokazu T, Takayuki A. Development of Compact Hydrogen Production Systems: 2004 International Gas Research and Conference, November 1-4, 2004, Vancouver, Canada. Association Publishers.