

수소-압축천연가스(HCNG) 자동차 국내외 개발동향 및 향후과제

이영철*, 한정옥, 이종성, 채정민, 홍성호

The Trend of Domestic and Foreign Development and Hereafter Subjects of Hydrogen-Compressed Natural Gas (HCNG) Vehicles

Youngchul Lee*, Jeongok Han, Joongseong Lee, Jeongmin Chae and Seongho Hong

Abstract

수소경제로 가는 길목에서의 압축천연가스에 수소를 첨가한 수소-압축천연가스(HCNG)는 자동차 연료로서의 뛰어난 효과로 인해 미국, 캐나다, 유럽 등에서는 강화되고 있는 자동차의 배출가스 규제에 대해 만족할 수 있는 차세대 천연가스 자동차의 대안으로서 관련 기술개발과 실증사업에 주력하고 있다. 향후 수소시대의 도래에 즈음하여 HCNG의 사용은 수소 사용에 대한 인식 향상과 아울러 수소사용을 안정적으로 공급할 수 있는 토대를 마련하고 수소제조 등 여러 분야에서 기술개발을 할 수 있는 부가적인 효과가 있다고 하겠다. 따라서 최근 국내에서 시내버스와 청소차등에서 천연가스 차량의 보급이 확대되고, 충전소도 점차 확대되고 있는 상황에서 HCNG 연료의 적용가능성을 확인하기 위한 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 인프라 관점에서의 선진국과 국내의 기술개발 현황을 소개하고 향후 우리에게 필요한 과제가 무엇인지를 생각해 보는 기회를 갖고자 하였다.

Key words

Hydrogen compressed natural gas(HCNG, 수소압축천연가스), HCNG Station(HCNG충전소), mixed apparatus(혼합설비), Hydrogen generator(수소제조장치)

(접수일 2010. 9. 7, 수정일 2010. 12. 7, 게재확정일 2010. 12. 13)

* 한국가스공사

■ E-mail : leeyc1@kogas.or.kr ■ Tel : 031-400-7490 ■ Fax : 031-406-1495

Nomenclature

WI : wobber index

NO_x : 질소산화물

T : combustion temperature

t : time

N_2 : nitrogen

η : efficiency

r_v : compression ratio

k : specific heat ratio

$scfm$: standard cubic feet per minute

subscrip

CNG	: compressed natural gas
HCNG	: hydrogen compressed natural gas
ESC	: european stationary cycle
ETC	: european transient cycle
EPA	: environmental protection agency
APCI	: air products and chemical, inc.
EGR	: exhaust gas recirculation
DPF	: diesel particulate filter trap
SCR	: selective catalytic reduction
DOC	: diesel oxidative catalyst

1. 서론

현재 세계 에너지원의 대부분을 차지하고 있는 석유는 2020년을 전후로 가스에게 그 자리를 넘겨 줄 것으로 예상되고 있으며 궁극적으로 21세기 후반에는 수소에너지가 가장 큰 에너지 비중을 차지할 것으로 예상되고 있다. 더욱이 고유가 시대의 도래와 환경규제의 강화로 인해 대체에너지 엔진 및 수소엔진, 수소연료전지와 같은 새로운 연소 및 동력 기술이 큰 관심사로 등장하였고 향후 20년간은 차량 동력 장치의 커다란 변혁기가 될 것으로 예상된다.

가까운 시일내에 수소인프라의 구축과 수소 생성, 저장, 이용으로 연결되는 수소경제 사회의 도래가 불투명하기 때문에 과도기적 수소이용 및 공급 전략이 필요하며 연료개질에 의한 부분적 수소이용은 수소경제로의 기술적 가교 역할을 담당할 것으로 기대된다. 이러한 천연가스에 일정량의 수소를 혼합하여 엔진 연료로 공급할 경우 질소산화물의 배출 농도가 현저히 감소되는 것으로 알려져 있다⁽¹⁾. 그리고 국내 수소연료전지차, 수소엔진자동차 및 수소혼합연료자동차 등 수소 자동차 실용화 방안에 대한 종합적인 검토와 이에 대한 현황 조사⁽²⁾와 HCNG 자동차 동향에 대한 발표⁽³⁾도 있었다.

이러한 수소-압축천연가스 혼합연료의 기술은 제1·2 석유 파동과 심각한 대기오염으로 인한 가스 및 원자력 등 대체에너지원 개발 및 청정에너지에 대한 관심이 고조되고 있는 상황에서 친환경적인 수소에너지원에 대한 과도기적 수소이용 전략에 즈음하여 기술적 가교 역할로서 그 의미가 크다고 하

겠다. 수소-천연가스 혼합연료의 사용은 부분적인 수소공급 시스템이 필요하고 기존의 CNG 인프라의 활용을 전제로 하고 있기 때문에 수소 인프라 구축을 용이하게 해 준다고 하겠다. 따라서 수소-압축천연가스 혼합연료의 사용은 CNG 자동차의 배출가스 저감은 물론 수소경제 사회를 이루기 위한 수소 인프라 구축에도 기여할 수 있다는 점에서 이에 대한 기술개발은 국내외 몇몇 연구그룹에서 연구개발이 이루어지고 있으며 현재는 실증단계로 이루어지고 있다.

하지만 이러한 기술이 아직 선진국에서 상용화 되지 않은 이유는 천연가스 자동차 시장이 전체 차량에서 차지하는 비중이 낮고 아직 인프라가 성숙되어 있지 않아 상용화할 수 없는 상태이고, 아직까지 천연가스 자체만으로 타 연료에 비해 환경성에서 경쟁력이 있기 때문에 비교우위를 차지하고 있는 것으로 판단되지만 이러한 경쟁 우위의 환경은 이제 점차 경쟁연료의 기술개발로 어려워지고 있다. 그러므로 천연가스의 수송연료 입지는 이제 스스로 강화하지 않으면 그 자리를 잃게 될 것이다. 다시 말하면, 천연가스 자동차뿐만 아니라 모든 자동차에서 지구 온난화 방지 측면과 환경오염 저감 측면 양자를 만족시킬 수 있는 친환경 자동차 기술의 확보는 향후 치열해지는 국가 경쟁력에서 살아남을 수 있는 관건으로 부각되고 있는 실정이다. 그러므로 천연가스 자동차가 다른 수송연료와의 경쟁에서 앞서기 위해서는 후처리장치의 기술개발과 더불어 수소-압축천연가스 혼합연료(HCNG, Hydrogen compressed natural gas)를 사용하여 환경오염 저감 및 온난화방지를 이루어야 할 것이다⁽⁴⁾.

따라서 천연가스에 수소를 혼합한 수소-압축천연가스 혼합연료의 물성과 자동차 배출가스 허용기준을 살펴보고, 인프라 관점에서 이러한 HCNG의 국내외 기술개발 현황과 인프라 구축에 필요한 기준 및 방안에 대해 알아보려고 한다.

2. HCNG 연료물성 및 자동차 배출가스 허용기준

2.1 HCNG 특성

수소-압축천연가스 혼합연료에 대한 특성은 Table 1에 정리한 것처럼 수소와 천연가스의 특성을 서로 혼합한 중간값

Table 1. 수소, 천연가스, HCNG 특성 비교

구분	연소속도	발열량	비고
천연가스	느림	높음	
수소	빠름	낮음	
혼합연료 (HCNG)	중간	중간	수소대비연소 안전성 증대

을 갖고 있다고 볼 수 있다. 천연가스의 연소속도가 수소보다 느리지만 수소를 혼합한 HCNG는 천연가스와 수소의 중간치를 나타낸다. 또한 발열량의 경우도 높은 천연가스와 수소를 혼합하면 중간값의 발열량을 나타낸다. 따라서 HCNG는 수소 대비 연소안전성이 증대되고 천연가스보다 위험도도 낮은 것이 특징이라고 할 수 있다.

2.2 HCNG 자동차의 배출가스 허용기준

일반적으로 자동차의 기술개발 전망을 살펴보면 Fig. 1과 같다.

현재 가솔린/디젤 내연기관이 주종을 이룬다면 점차 하이브리드가 일부분의 자리를 점할 것이다. 또한 최종적으로 수소연료전지자동차가 2015년경 보급이 시작되어 시장을 주도하지만 2030년경에도 내연기관은 존속할 것으로 예측되고 있다. 그리고 그 중간 시기는 내연기관 및 하이브리드 기술이 시장을 주도할 것이다. 이때 수소를 첨가한 연료를 사용한 내연기관이 시장을 주도할 것으로 예측하고 있다.

Fig. 2에 나타난 것과 같이 2010년 현재 국내 자동차 배출가스 기준은 중대형 디젤자동차의 경우 유럽기준에 맞추어

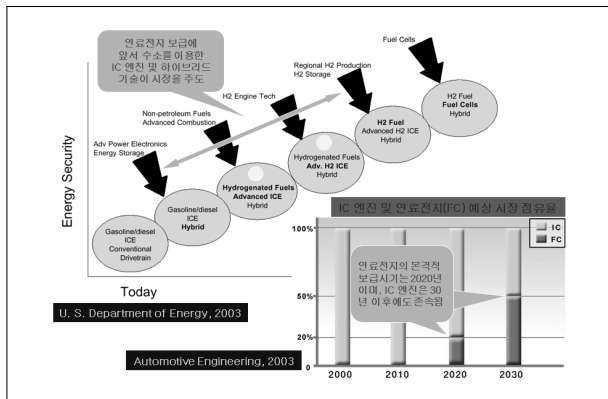


Fig. 1 자동차 기술전망

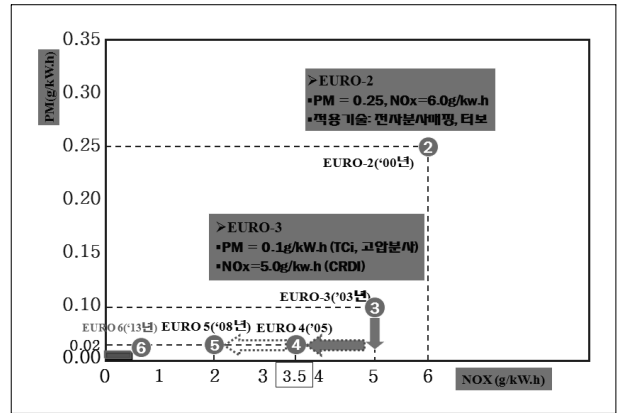


Fig. 2 유럽 자동차 배출가스 허용기준⁽⁵⁾

EURO-5로 시행되고 있다. 이 기준은 2013년 이후 EURO-6 기준으로 강화될 예정이다. EURO-6 기준은 주로 미립자 (PM)와 질소산화물(NOx)의 저감에 초점이 맞춰져 있다.

EURO-6은 EURO-5 보다 미립자는 50%, 질소산화물은 80% 줄여야 한다. 새 규정에 따르면 NOx의 배출량은 EURO-5보다 80% 줄어든 0.4g/kWh, 미립자는 0.01g/kWh로 대폭 강화된다. 미립자와 질소산화물의 기준은 현재의 ESC(European Stationary Cycle)와 ETC(European Transient Cycle) 테스트가 기준이 된다. EURO-6은 미국 EPA(Environmental Protection Agency)가 실시하는 2010년 상용차 규정(US'10)에 더욱 근접해졌다. 참고적으로 2010년부터 시행되는 미국 상용차 배기가스 규정은 질소산화물이 0.27g/kWh, 미립자가 0.013g/kWh이다.

3. 국내외 HCNG 기술개발 현황

여기서는 HCNG 인프라 구축에 대한 기술개발 국내외 현황을 조사하여 정리하면 다음과 같다.

3.1 국내 기술개발 현황

국내의 경우 자동차 부분에서의 기술개발은 성균관대에서 2002년부터 실시하였으며^(6,7), 두산인프라코어에서 '07년 4월에 HCNG 특허를 보유하고 있는 미국의 CTI사를 인수하여 HCNG 기술에 대한 시험을 진행한바 있으며 상품화를 위해

기술적인 검토를 진행중에 있다. 향후 EURO-6 또는 그 이후의 배출가스를 대응하는 방법으로 크린디젤기술(디젤+EGR+DPF+SCR), CNG응용기술(CNG+SCR+DOC) 및 HCNG기술(후처리 없음)을 비교할 때 가장 경쟁력 있는 기술로 HCNG 기술이 유망한 것으로 전망되고 있다. 2009년부터 환경부 무저공해자동차 사업단에서 실시하는 기술개발과제를 인프라 부분을 한국가스공사와 자동차 부분을 기계연구원 주관으로 두산인프라코어(주)에서 참여기업으로 참여하여 수행하고 있다.

3.2 국외 기술개발 현황

전세계에서 운영되고 있는 HCNG 충전소는 약 16개소가 운영중에 있으며, HCNG 차량에 대한 시범운행을 위해 미국 및 유럽에서는 일찍이 수소 및 CNG 충전소에 HCNG가스를 충전할 수 있는 인프라를 구축하여 시범운영하고 있다.

캐나다에서는 전기분해방식과 수소이송방식의 두가지 형태로 HCNG 충전소를 시범운영하고 있다. 1995년 몬트리올 파일롯 프로젝트를 통해 2대의 HCNG 버스가 대중교통수단으로 실증 평가되었다. 2003년도 수소-천연가스 기관의 기술개발은 AUTO 21 프로젝트 하에서 1백만달러 정도의 기술개발비가 투자된 것으로 알려졌다. 수소-압축천연가스를 사용하는 엔진을 시범적으로 개발하여 배출가스 성능이 확인된바 있으며 5~20%의 수소연료 혼합비율로 배출가스 성능(CNG에 비해 NOx 50% 감소)을 획기적으로 감소시킬 수 있는 것으로 알려져 있다. 수소-압축천연가스 차량은 시범운영 단계이고 강화되는 배출기준을 만족할 수 있는 기술로서 평가되고 있다.

유럽에서는 프랑스, 이태리, 스웨덴, 노르웨이 등에서 전기분해 및 천연가스개질 방식으로 수소를 생산·공급하여 HCNG 충전소를 운영하고 있다. 2009년까지 질소산화물은 현기준('07년 기준)보다 40%를 저감해야하는 목표를 가지고 있다. 특히 프랑스 가스공사에서는 2005년부터 Hythane(20%HCNG)을 천연가스 버스에 적용하기위한 프로젝트(ALT-HY-TUDE)를 수행하였다. Dunkerque와 Toulouse에 HCNG 충전소를 설치하였으며, 프랑스 북부의 Dunkerque는 풍력에 의한 전기를 이용하여 전기분해방식으로 수소를 생산하여 천연가스와 혼합한 HCNG를 2대의 버스에 적용하였고, 남부에 위치한 Toulouse는 천연가스 개질방식으로 수소를 생산하여 천연가스와 혼합한 Hythane(20%HCNG)을 3대의 버스에 적용

하였다. 이 프로젝트에는 5개 기관이 참여하여 프랑스 가스공사에서 프로젝트 전체를 총괄하고, GNVert에서 충전소 연구개발, 운영 및 관리를 담당하고, INERIS에서 기준 및 안전성 연구, EGIM에서 엔진개발, IRISBUS에서 자동차 개조 및 검증, CONNEX에서 배기가스 측정을 담당하였다.

아시아에서는 일본은 1993년부터 시행된 WE-NET 프로그램의 일환으로 수소-천연가스 동력시스템에 관한 기술개발을 진행 중이다. 그리고 21세기 수소에너지 시대의 도래에 대비하기 위해서는 수소-천연가스 혼합연료의 사용이 불가피할 것으로 전망하고 장기적으로 아시아 전역에 걸쳐 HCNG 가스 공급라인을 구성하는 것을 계획하고 있다. 이밖에 인도에서 전기분해방식을 도입한 HCNG 충전소를 처음으로 시범 운영하고 있다.

Fig. 3은 Delhi시에 있는 인도 최초의 상용화 CNG와 HCNG 복합충전소를 나타낸 것이다. 최근에 버스 및 중 소형 차량에 HCNG 적용을 추진하고 있으며 상용화 단계에 이른 것으로 파악되고 점차 확대시킬 계획으로 알려져 있다.

미국에는 현재 6개의 HCNG 충전소가 운영되고 있으며, 수소의 생산방식은 전기분해방식, 액화수소 이송방식, 천연가스 개질방식 등의 다양한 형태로 시범 운영 되고 있다. 특히 Fig. 4에서 나타난 것과 같이 펜실베이니아 주립대학(PSU) 내에 설치된 수소, HCNG 충전소는 천연가스를 개질하여 수소를 생산하는 방식으로 미국의 에너지부(DOE)와 APCI(Air Products and Chemical, Inc.)가 펀드를 조성하여 2006년부터 시범 운행되고 있는 대표적인 충전소이다. APCI가 충전소 설치 및 시설지원을 담당하고, CATA(Centre Area Trans-



Fig. 3 인도 Delhi시 상용화 HCNG충전소

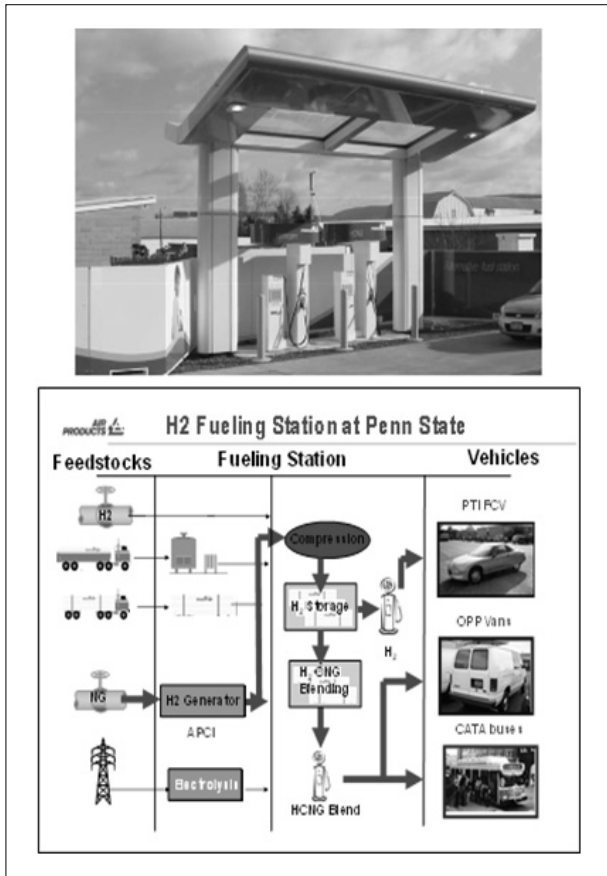


Fig. 4 Penn state 수소/HCNG충전소 전경 및 공급도면

portation Authority)에서는 펜실베니아 주립대 캠퍼스 내에서 2대의 HCNG 버스를 시범운행하고 있다. 펜실베니아 주립대 관리부(Office of Physical Plant)에서는 6대의 HCNG 승합차를 캠퍼스 내에서 운행하는 것을 담당하고 있으며, 이러한 PSU 수소/HCNG 충전소의 수소 생산능력은 시간당 4kg, 하루에 100kg의 수소를 생산할 수 있는 용량이다. 이것은 하루에 연료전지 자동차 24대 또는 연료전지 버스 1대를 충전할 수 있는 능력이며, 30~35%의 HCNG 버스 3~4대를 충전할 수 있는 용량이다. 평상시에는 천연가스 개질기를 통해 수소를 생산하지만 개질기의 정지상태 등 비상시를 고려하여 1,500갤론의 액체수소 저장소를 갖추고 있다.

수소와 HCNG 충전기가 각각 설치되어, 수소는 5,000psi (350bar) 그리고 HCNG(30% H₂)는 3,600psi(250bar)로 충전한다.

미국에서는 이러한 이중 연료에 대한 충전소가 한 곳에 설치된 경우를 종종 볼 수 있는데 Fig. 5 및 6에 나타낸 바와



Fig. 5 수소, CNG, HCNG충전소 전경(Hempstead in New York)



Fig. 6 기존 가솔린 충전소와 병설 설치된 수소충전소(미국, LA)

같이 CNG 및 가솔린 충전소와 수소충전소가 병설된 충전소를 볼 수 있다. 특히 Fig. 5의 충전소는 수소, CNG 및 HCNG 충전소가 한 울타리에 있고, 수소 및 CNG 저장탱크가 바로 옆에 붙어 설치되어 있다. 이렇게 설치하여도 기준에 벗어나지도 않고 안전에도 전혀 문제가 없다고 한다.

또한 수소연료전지자동차 연구와 함께 수소연료시대에 진입하기 위한 가교로서 수소와 CNG를 혼합한 연료를 적용하기 위한 연구가 미국 에너지부의 FreedomCAR & Vehicle Technologies Program의 일환으로 2002년부터 진행되어 오고 있다. 이다호 국립연구소에서는 수소충전소와 수소/천연가스 복합의 충전소와 가솔린 엔진의 소형트럭을 개조하여 차량 및 충전소를 운영하고, 안전 및 성능상의 문제점을 지속적으로 보완하고 있다. Collier는 수소천연가스 자동차에 대한 엔진 개발을 추진하고 있다⁽⁸⁾.

4. HCNG 인프라 구축

HCNG 기술은 연료 인프라 기술과 엔진기술의 융복합 기술로 가스공급사와 엔진제작사의 공동 노력이 필요한 분야이다. 특히 연료 인프라기술은 아직 수소제조방법에 대한 기술 축적과 최적 인프라 구축 방안 및 안전관리 제도 정비 등이 필요하며 관련 기술개발을 통해 보급기반을 구축해야 한다. 또한 기존 CNG 충전인프라를 활용하여 HCNG를 공급할 수 있는 최적 방안을 도출하여 효과적인 인프라가 구축될 수 있는 기반을 마련할 필요가 있다.

4.1 HCNG 혼합 및 수소공급 방식

4.1.1 HCNG 혼합방식

HCNG 충전 시스템의 기본구성을 살펴보면 일반적으로 제조부분, 압축부분, 저장부분, 혼합부분, 그리고 충전부분으로 분류할 수 있다. Fig. 7에서와 같이 혼합방법을 살펴보면 각각의 가스를 승압후 혼합하는 고압혼합 방식(High pressure blending)과 혼합 후 승압하는 저압혼합 방식(Low pressure blending) 두가지가 있다.

먼저 Fig. 7 (A)는 고압혼합 방식의 개략도를 나타냈는데, 천연가스와 수소를 각각 20MPa, 35MPa까지 승압하여 실린더에 저장하고 이 가스를 고압 Regulator를 통과시켜 압력을 안정화 시킨다. 안정화된 압력의 가스를 실린더 후단의 질량 유량계(MFC, Mass flow meter) 혹은 비례 유량 제어 밸브

(Proportion Flow Control Valve)를 이용하여 원하는 혼합 비로 조정하여 믹서에서 혼합이 이루어지도록 한다. 혼합된 가스는 다시 저장탱크에 저장되고 다시 디스펜서를 통하여 차량에 충전된다. 이 시스템의 특징은 첫째 별도의 수소 압축 시스템이 필요하고, 둘째 기존의 CNG 충전 인프라를 활용하는데 유리하다. 셋째 고압의 수소와 CNG 탱크가 각각 설치되어 있으므로 수소 자동차와 CNG 자동차 충전이 용이하며, HCNG 충전 노즐과 CNG 충전 노즐은 함께 사용할 수 있다. 단, 미국의 NFPA52-2006에서는 수소농도 20%vol 이하의 HCNG는 CNG로 분류하고 있다. 넷째 천연가스와 수소 탱크 후단의 유량제어밸브를 조정하여 HCNG의 농도 변경이 용이하다. 다섯째 저압혼합방식에 비해 저장용기, 압축시스템 등 필요한 설비의 수가 많거나 복잡할 수 있다.

Fig. 7 (B)는 저압혼합 방식의 개략도로서 저압혼합식을 적용하기 위해서는 기존의 천연가스 압축기로 HCNG의 압축이 가능한지에 대한 검토가 필요하다. 기술적으로 CNG 압축기의 큰 변경없이 압축 가능한 것으로 알려져 있지만, 수소의 농도에 따라 전기 등급, 재질, 윤활성 등이 주요 검토대상이다.

한편 이 방식은 미국의 Arizona Public service Program에서 시범 적용하여 운영하였는데, 이 프로그램에서는 FuelMaker의 완속 충전시스템(VRA : Vehicle Refueling Appliance)을 포함하는 디스펜서가 사용되었다. 믹서(Mixer)는 206kPa의 천연가스에 206kPa보다 조금 높은 압력의 수소를 인입하여 혼합한 후, 디스펜서로 보내고, 디스펜서에서 24.8MPa(약 250bar)까지 승압된다. 이 경우 토출유량은 표준상태에서 53.8l/min (1.9scfm)으로 비교적 소용량이다. 이러한 저압혼합방식은 첫째 수소와 천연가스의 농도가 일정한 값으로 정해져 있는 대형 자동차의 충전시설로 적합하다. 둘째 기존의 가스 믹서 등을 이용하여 혼합 가능하다. 셋째 기존의 CNG 충전소의 압축기를 수소와 천연가스 혼합가스를 압축 가능한지에 대한 검토가 필요하다. 넷째 고압혼합방식에 비해 설비의 종류가 적고, 시스템이 단순하여 유지관리가 용이하여 대량 충전에 용이하다. 다섯째 CNG 자동차, 수소 자동차와 같이 다양한 연료의 차종에 대한 충전이 어렵다.

4.1.2 수소 공급 방식

HCNG 시스템 구성을 위한 수소 공급 방법은 아래 Table 3과 같이 구분할 수 있다. 먼저 이동식 수소충전소를 이용하여 수소를 공급받는 방법으로 소용량의 공급에 활용될 수 있

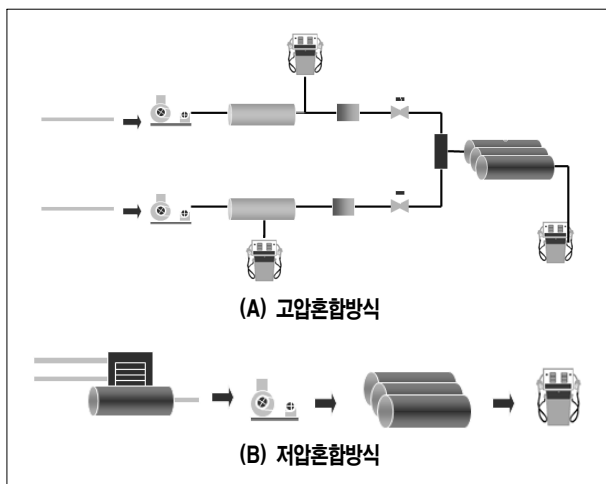






Fig. 7 HCNG 혼합 방식

Table 3. 수소생산 및 공급 방식

생산	수소생산방식	연료공급
	Mobile 방식	<ul style="list-style-type: none"> • 가스수소 • 350기압, 150kg • 통합충전기
	수증기개질 전기분해	<ul style="list-style-type: none"> • 부피이존 • 임계수요 • 재정적인분석
	Tube Trailer	<ul style="list-style-type: none"> • 가스수소 • 220기압, 300kg • 독립충전기
	New delivery concept	<ul style="list-style-type: none"> • 액체수소/고압가스 • 저장능력 • 특고압

으며 천연가스를 이용한 스팀개질 방식의 수소공급은 기존 CNG 충전소에 적용이 용이한 방식이며 배관으로 공급된 천연가스를 개질장치를 통하여 수소를 생산하는 방식이다. 다음으로 수소를 튜브 트레일러에 의해 공급받는 방법은 이동식 수소 공급방법과 유사하나 디스펜서가 없어 혼합설비 또는 현장에 설치된 디스펜서를 이용하여야 한다. 그리고 연료 밀도가 높은 액체수소 공급방식은 초저온 저장탱크가 필요하며 트레일러에 의해 운송하여 사용처에서 기화시켜 사용하는 방법이다.

기존 CNG충전소에 적용할 수 있는 방식으로는 천연가스 개질장치를 이용하는 고정식 방법과 튜브트레일러에 의한 이동식 공급 방식이다.

4.2 HCNG 충전인프라 요건 및 설치 기준

4.2.1 HCNG 충전인프라 요건

현재 설치된 CNG충전소의 생산 능력은 1,000Nm³/hr이며, 이 생산량은 시내버스 약 100대를 하루에 충전할 수 있는 시설이다. 그러므로 CNG충전시설을 활용하여 HCNG 공급을 위해서는 수소 30%를 혼합한다고 했을 경우 대략 수소 생산량이 300Nm³/hr이상이어야 할 것이다. 또한 수소 공급방법을 살펴보면 가장 일반적으로 현지 설치가 가능한 것으로 화석연료중 경제성이 있는 천연가스 개질 방법으로 수소를 제조하고 이때 개질 효율은 대략 70%이상을 갖는 기술이 적

용되어야 할 것이다. 또한 수소, CNG 및 HCNG 충전소가 한 곳에 병설이 될 수 있는 복합충전 인프라가 설치될 경우에 기존 CNG충전소를 활용할 수 있는 점에서 가장 효과적이라고 판단된다. 아울러 이 충전소는 수소인프라를 동시에 구축하는 효과도 있으므로 향후 수소경제로 가는 가교역할을 할 수 있을 것으로 판단된다.

4.2.2 CNG/수소충전소 설치 기준

CNG 충전소에 관한 기준은 국내의 경우 고정식, 이동식 및 이동식충전차량에 관한 3개의 기준이 운용 중이고, 미국은 NFPA52에서 CNG 연료충전에 관한 제반사항을 관리한다. 일본은 고압가스보안법에서 CNG 충전소에 관한 기술기준을 규정하고 있다. Table 4에서 국내 기준과 미국, 일본의 CNG기준을 비교 분석하였다. 안전거리 및 안전설비에 대한 규정이 일본이나 미국에 비해 상당히 강화되어 있음을 볼 수 있다.

수소충전소에 관한 기준은 국내 및 해외 모두 기준작업이 진행 중에 있다. 국내의 경우 수소자동차의 연구개발을 지원하기 위해 2005년 수소충전소에 관한 특례기준을 제정하여 운영하고 있으며, 2011년 수소충전소 상용화를 위한 코드(안)이 제정

Table 4. CNG/수소충전소 설치 기준

구분	CNG충전소			수소충전소	
	국내	미국	일본	국내	ISO
사업소 경계까지 안전거리	10m(방호벽 설치시5m)	-	6m(방호벽 설치시 0m)	10m(방호벽 설치시5m)	공공장소 6m
보호시설까지 안전거리	17m(1종 1만이하)	3m	-	17m(1종 1만이하)	공공장소 6m
충전설비와 도로경계 거리	5m(이동충전, 방호벽 설치시2.5m)	3m	5m	5m	4m
철도까지의 거리	30m(이동충전시 15m)	15m	-	30m	8m
화기와의 거리	우회거리 8m	3m	4m	우회거리 8m	4m
전선과 거리	고압전선 5m 저압전선1m	3m	-	고압전선 5m 저압전선1m	8m
압축, 충전, 저장설비와 가연물질 저장소와의 거리	8m	6.1m		8m	

되어 가스안전공사의 기술심의위원회 심의를 거쳐 기준이 확정될 예정이다. ISO(international standard organization)은 TC(technical committee) 197에서 수소충전소에 관한 국제 기준 작업을 진행하고 있으며, 최종 확정단계에 있다⁹⁾. 수소충전소 기준도 국제 기준에 비해 국내기준이 안전거리나 안전장치 또는 설비에 대해 매우 엄격한 기준을 적용하고 있다.

4.3 HCNG 충전인프라 설치 방안

HCNG 상용화를 위해서 크게 정부, 학계, 및 기업체 등의 엔진 개발 및 인프라 구축에 대한 기술개발 및 적극적인 참여와 노력이 필요하다. 이 논문에서는 엔진 개발에 대한 부분보다 인프라 구축에 대한 부분에 대해 정리하고자 한다. 특히 HCNG인프라 구축을 위한 방안으로 첫 번째가 CNG충전소 활용방안을 제시하고자 한다. 이 방안은 현재 설치된 CNG충전소에 수소제조설비를 설치하여 운영하는 방법인데 법규를 제정해야 하는 문제가 있다. 그러나 많은 부분에서 CNG충전소와 수소충전소의 법규가 유사하기 때문에 병설 설치에 문제가 없을 것으로 판단된다. 두 번째는 수소충전소 실증으로 설치된 30Nm³/hr급 수소제조설비가 아닌 300Nm³/hr급 수소제조설비에 대한 기술개발이 이루어져야 한다. 그렇게 되면 공급되는 수소가스 가격을 내릴 수 있고, 보다 경제성을 확보할 것으로 판단된다. 수소 가격이 내리면 HCNG 가스 가격도 내릴 수 있으며, HCNG 가격 하락은 보급을 확대시킬 수 있기 때문이다. 마지막으로 지역별 수소 공급 방법을 달리하여 우선적으로 부생가스를 활용하여 실증 및 보급 초기를 담당하여 기반을 마련하는 것이다. 현재 부생가스는 수송비를 제외하고는 천연가스에 의한 수소 제조 비용보다 저렴하기 때문에 이에 대한 보급이 보다 효율적일 것이다. 그러나 인구 밀집지역인 수도권까지 수송하는 비용 등을 고려하면 이러한 공급 방안은 천연가스에 의한 수소제조 보다 경제성을 갖는다고 할 수 없다. 이럴 경우에는 천연가스에 의한 상용화급 수소제조 장치를 갖는 HCNG 충전소의 건립이 필요하다.

5. 결론

수소-압축천연가스와 관련된 국내외 기술개발에 대한 현

황조사와 분석을 통해 각국에서는 HCNG에 대한 기술개발을 변화하는 자동차 배출기준을 맞추기 위해 CNG자동차의 NOx 및 CO₂ 등 배출가스를 현저히 줄이기 위한 측면과 아울러 수소경제사회로 진입하기 위한 가교의 측면으로도 이루어지고 있다. 이러한 기술개발은 엔진제작사의 HCNG 엔진 기술개발에 대한 노력뿐만 아니라 연료 인프라 공급사의 수소제조설비 기술개발과 HCNG 충전인프라 구축과 실증에 대해 이루어지고 있다. 특히 상용 CNG 충전소 및 가솔린 충전소에 수소제조설비를 갖춘 복합충전소를 활용한 실증이 이루어지고 있다. 그러므로 국내에서도 HCNG 인프라 구축방안으로 CNG충전소 병설설치 기준이 제정되어야 하고, 인프라 구축에 따른 경제성 확보방안으로 수소제조설비는 현재 수소충전소 실증으로 설치된 30Nm³/hr급 수소제조설비가 아닌 상용화급 규모로서 300Nm³/hr급 수소제조설비 개발도 이루어져야 할 것이다. 그리고 지역별 상이한 수소 공급방안으로 보급 초기 또는 실증 단계에서 보급을 촉진할 수 있을 것으로 판단된다. 끝으로 국내에서 CNG버스의 상용화가 조기에 성공할 수 있었던 상황을 살펴보면 초기시장 형성을 위한 보급정책이 중요하므로 HCNG 상용화에도 이 점이 활용되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 환경부 무·저공해자동차사업단 프로그램에 의해 수행중인 연구과제의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] Smutzer, C., Breault, R., Wilson, R.P., 2006, Proceeding of International Combustion Engine Division Fall Technical Conference, pp. 1-10, ASME.
- [2] K.J. Lee, J.T. Lee, G.J. Yong, "The strategy Plans for Practical Use of Hydrogen Fueled Vehicles in Domestic", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 21, No. 4, 2010, pp. 346-353.
- [3] Y.C. Lee, "수소경제사회의 중간단계로서 HCNG 국내외 동향", The Gas Safety Journal, 2009.12, pp. 9-15.

[4] Polman, E.A., de Laat, J.C., Crowther, M., et al., "Reduction of CO₂ emissions by adding hydrogen to natural gas", Gastec Technology Bv. 2003.
[5] http://europa.eu/legislation_summaries/environment/air_pollution/28186_en.htm
[6] Y. T. Kim, J.T. Lee, "The Limit Compression Ratio of Knock Occuring by RdH2 in the Heavy Duty Hydrogrn-CNG Fueled Engine", KSAE, Vol. 14, No. 2, 2006, pp. 84-91.

[7] J.T.Lee, "History and Current Trend of Domestic Research for Hydrogen Fuel Engines", Auto journal in KSAE, Vol. 28, No. 2, 2006, pp. 14-25.
[8] Collier, Jr. R. Kirk, 2007, "2007 무저공해자동차 상업 국제 심포지움 및 기술교류발표회", pp. 57-58, 무저공해자동차 사업단.
[9] ISO/ CD 20100 (E): 2009.

이영철



1984년 연세대학교 화학공학과 공학사
1989년 KAIST 화학공학과 공학석사
1992년 KAIST 화학공학과 공학박사

현재 한국가스공사 연구개발원 수석연구원
(E-mail : leeyc1@kogas.or.kr)

한정옥



1983년 인하대학교 기계공학과 공학사
1986년 KAIST 기계공학과 공학석사
1992년 KAIST 기계공학과 공학박사

현재 한국가스공사 연구개발원 수석연구원
(E-mail : johan@kogas.or.kr)

이증성



1985년 부산대학교 기계공학과 공학사
1988년 부산대학교 기계공학과 공학석사
1995년 부산 대학교 기계공학과 공학박사

현재 한국가스공사 연구개발원 수석연구원
(E-mail : jslee@kogas.or.kr)

채정민



1993년 부경대학교 냉동공학과 공학사
1995년 부경대학교 냉동공학과 공학석사

현재 한국가스공사 연구개발원 책임연구원
(E-mail : imincae@kogas.or.kr)

홍성호



1985년 미시간 주립대학교 응용역학 석사졸업
1990년 미시간 주립대학교 응용역학 박사졸업

현재 한국가스공사 연구개발원 신에너지환경연구개발 PM
(E-mail : shhong@kogas.or.kr)