



CNG/HCNG 복합충전소의 안전에 관한 동향분석

이승현* · †강승규** · 성종규** · 이영순***

*서울과학기술대학교 에너지환경대학원, **한국가스안전공사 가스안전연구원

***서울과학기술대학교 안전공학과

(2010년 3월 1일 접수, 2011년 4월 25일 수정, 2011년 4월 25일 채택)

A Trends Analysis on Safety for CNG/HCNG Complex Fueling Station

Seung-Hyun Lee* · †Seung-Kyu Kang** · Jong-Gyu Sung** · Young-Soon Lee***

*The Graduate School of Energy and Environment, Seoul National University of Technology

**Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation

***Safety Engineering Dep., Seoul National University of Technology

(Received March 1, 2010; Revised April 25, 2011; Accepted April 25, 2011)

요 약

본 연구에서는 강화되는 자동차 배기가스 규제를 만족시키기 위하여 압축천연가스자동차보다는 배기가스부분에서 유리하고, 아직 상용화되지 않은 수소연료전지자동차의 대안으로서 수소경제의 본격적인 도입을 위한 과도기적 대안연료로 주목받고 있는 수소와 천연가스를 혼합한 연료인 HCNG 충전소의 안전에 관한 동향 및 기술을 분석하였다. HCNG는 기존의 CNG 인프라의 활용, 점점 강화되는 배기가스 배출기준의 충족, 그리고 다가오는 수소시대를 대비하여 수소시대로 가기 위한 기술적, 사회적 가교역할을 한다는 점에서 매우 중요한 기회이자 도전이다. 이를 위해 HCNG 상용화에 필수적으로 요구되는 수소-압축천연가스 혼합연료 사용에 대비한 각종 안전 고려사항들에 대하여 검토하여 국내 사고 이력을 기초로 하여 사고발생시나리오, 안전거리 추가 필요성, 수소 침식, 점화원, 화재감지 등의 안전 고려사항을 제시하였고, HCNG 충전소 기술 및 기준에 관한 최근동향을 분석하여 향후 HCNG 충전소 시범 운영을 위한 안전성평가 등 제도적 기반 구축을 제안하였다.

Abstract - In this research, the safety trends and technologies of HCNG, a mixture of hydrogen and natural gas, are analyzed. This is an attracting alternative fuels to meet the strengthened automotive exhaust gas emission standards. HCNG is very important opportunities and challenges in that it is available the existing CNG infrastructures, meets the strengthened emission standards, and the technical, social bridge of the coming era of hydrogen. It is essential for the commercialization of HCNG that hydrogen - compressed natural gas blended fuel for use in preparation of various safety considerations included accidents scenario, safety distance, hydrogen attack, ignition sources and fire detectors are examined. Risk assessments also are suggested as one of permission procedure for HCNG filling station.

Key words : HCNG, complex fueling station, code and standards

†교신저자:skkang@kgs.or.kr

I. 서론

최근의 고유가와 온실가스 저감 등으로 보급 활성화되고 있는 저공해 자동차중의 하나가 압축천연가스(CNG)자동차이다. 대도시의 대기환경 개선을 위한 환경 규제 강화로 인하여 수도권뿐 아니라 전국 대부분의 도시에서는 압축천연가스를 연료로 하는 시내버스 자동차를 어디든지 쉽게 찾아볼 수 있다. 압축천연가스자동차는 2000년 이후 우리나라뿐 아니라 아시아와 남미 지역을 중심으로 보급이 급격히 활성화 되고 있다. 자동차 배기가스 규제 강화 등의 환경규제를 강화하는 기초는 끝난 것이 아니라 기후변화협약 등에 의해 계속 유지되고 있다. 그러므로 향후, 자동차 배기가스 기준으로 흔히 통용되는 EURO-6과 US'10 규제가 적용될 것으로 예상된다. 현재의 압축천연가스자동차의 오염물질 배출량으로는 새롭게 적용될 ULEV와 SULEV 기준이나 EURO-6 및 US'10기준을 만족시킬 수 없어 이에 대한 대비가 필요하다.

우리나라에서는 2000년 이후 수도권 및 대도시의 대기환경 개선을 위하여 압축천연가스자동차를 본격적으로 도입하기 시작하여 2만여대 이상의 압축천연가스자동차가 운행되고 있으나[1], 지속적으로 강화되는 대기환경 규제에 대응하기 위한 연구개발은 수소연료전지자동차 개발이외에는 아직 다른 분야에 대한 연구개발은 미미한 편이다. 수소경제 대비측면에서는 수소연료전지 자동차의 시범운영 및 실증 연구를 위하여 수소충전소를 설치·운영 중이다. 하지만, 수소시대는 가까운 장래는 아니며 화석연료와 수소연료가 공존하는 과도기를 거친 후 본격적인 수소시대가 도래하게 될 것으로 예측하고 있다. 미국 및 유럽 등의 선진국에서는 수소시대를 대비하여 과도기적 친환경연료인 수소와 압축천연가스를 혼합한 HCNG연료에 대한 연구를 일찍부터 시행하고 있다[2-6]. 국내에서는 2009년부터 HCNG에 대한 타당성 검토연구를 시작하였다. 환경부에서는 지구온난화와 온실가스규제 등 각종 환경규제에 대비하여 echo-star 프로젝트를 추진해오고 있으며 최근 강화되는 자동차배기가스규제에 대비한 시내버스용 수소-압축천연가스혼합 엔진개발을 추진하고 있다.

본 연구에서는 강화되는 자동차 배기가스 규제를 만족시키기 위하여 압축천연가스자동차보다는 배기가스부분에서 유리하고, 아직 상용화되지 않은 수소연료전지자동차의 대안으로서 수소경제의 본격적인 도입을 위한 과도기적 대안연료로 주목받고 있는 수소와 천연가스를 혼합한 연료인 HCNG에 대

한 제도적 타당성 연구를 지원한다. 이를 위해 HCNG 상용화에 필수적으로 요구되는 수소-압축천연가스 혼합연료 사용에 대비한 각종 안전 고려사항들에 대하여 검토하고, HCNG 충전소 기술 및 기준에 관한 최근동향을 분석하였다.

II. 관련 동향

2.1. 배기가스 기준

유럽 의회는 상용차에 적용될 EURO-6 배기가스 규정을 발표했다. EURO-6 규정은 2013년 12월 31일부터 효력이 발휘되고 2,610kg 이상의 상용차에 적용된다. 상용차에 적용되는 EURO-6은 미립자(PM)와 질소산화물(NO_x)의 저감에 초점이 맞춰진다. EURO-6은 EURO-5 보다 미립자는 50%, 질소산화물은 80% 줄여야 한다. 새 규정에 따르면 NO_x의 배출량은 EURO-5보다 80% 줄어든 0.4g/kWh, 미립자는 0.01 g/kWh로 대폭 강화된다. EURO-6은 미국 EPA가 실시하는 2010년 상용차 규정(US'10)에 더욱 근접해졌다. 2010년부터 시행되는 미국 상용차 배기가스 규정은 NO_x가 0.27 g/kWh, PM이 0.013g/kWh이다[Fig.1 참조]. 미국에서 경제활동이 가장 활성화된 곳으로 전 세계 자동차 제조사들이 치열한 경쟁을 벌이고 있는 캘리포니아 지역에서는 Table 1.과 같이 저 배기가스 자동차(LEV: Low Emission vehicle)에서 초저배기가스자동차(ULEV: Ultra Low Emission vehicle)와 초초저 배기가스 자동차(SULEV : Super Ultra Low Emission vehicle)로 자동차 배기가스와 관련된 환경기준을 점점 강화해 가고 있다 [7].

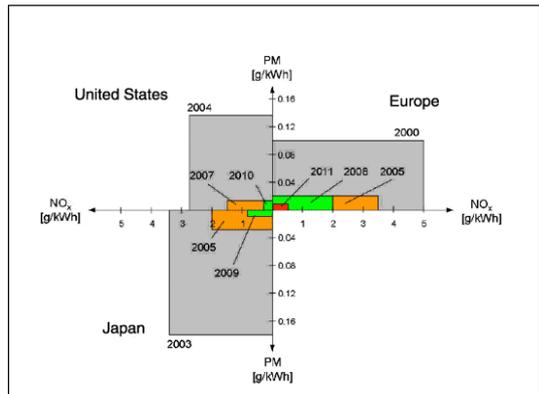


Fig. 1. Exhaust gas regulations for diesel vehicles in Japan, USA, and Europe(trucks and buses).

Table 1. California emission standards

	NMOG (gram/mile)	CO (gram/mile)	NOx (gram/mile)
LEV	0.09	4.2	0.07
ULEV	0.055	2.1	0.07
SULEV	0.01	1	0.02

NMOG = 비메탄 유기물 가스
 CO = 일산화탄소
 NOx = 질산화물

2.2. HCNG 연구현황

미국의 캘리포니아 주 자동차 배기가스 환경기준을 가장 이상적으로 만족시킬 수 있는 자동차는 수소연료전지 자동차인 것으로 보고 이에 대한 대규모의 연구개발을 착수하여 상용화를 추진하고 있다. 하지만, 아직까지 내구성이나 가격, 인프라 구축 등 기술적부분이나 경제적인 측면에서 해결하여야 할 부분이 많이 남아 있어 상용화가 다소 지연되고 있다. 미국 캘리포니아 지역에서는 지금도 수소연료전지 자동차에 대한 시범운행과 인프라 구축에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 미국에서는 수소연료전지자동차 연구와 함께 수소연료시대에 진입하기 위한 가교로서 수소와 CNG를 혼합한 연료를 적용하기 위한 연구가 미국 에너지부의 FreedomCAR & Vehicle Technologies Program의 일환으로 2002년부터 2006년까지 진행되었다[7]. 또한, 미국의 신재생에너지연구소에서는 시내버스에 수소/천연가스 혼합연료의 적용가능성에 대한 연구개발을 캘리포니아의 선라인 서비스 그룹, 커민스사 등과 함께 수행해 오고 있다. 이다호 국립연구소에서는 미국 에너지부의 FreedomCAR & Vehicle Technologies Program 연구의 일부로서 포드사에서 제작한 F-150 픽업트럭을 개조하여 수소와 압축천연가스를 혼합한 연료를 가지고 성능시험을 수행하였다[2]. 동 연구결과 배기가스의 저감을 실현하고 있음을 보여주고 있다. 포드사의 F-150 차량으로 100% 압축천연가스, 수소(15%)혼합 압축천연가스, 수소(30%)혼합 압축천연가스 연료를 주입하여 각각 가속시험 및 배기가스 시험을 수행한 결과, 가솔린 연료 대비하여 Table 2에서 보는 바와 같이 질산화물이 약 50% 이상 저감되는 것을 확인하였다. CNG에 수소를 첨가할 경우 희박가연한계가 확대되고 NOx 배출량이 저감되는 것으로 보고되고 있다. 기존의 CNG차량으로 US'07의 배출가스 기준을 충족할 수 있었으나, 이보다 한층 강화되는 US'10의 배출기준에는 부적합한 것으로

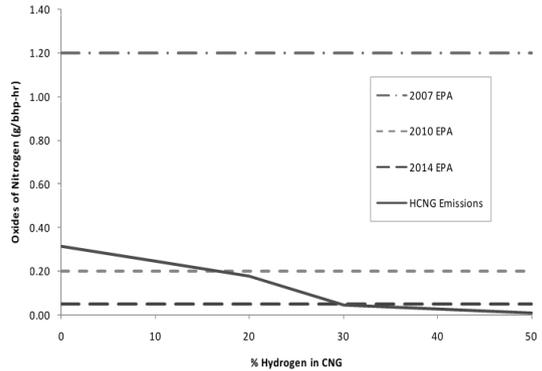


Fig. 2. HCNG and engine performance[7].

Table 2. Percent change in emissions; Gasoline vs. 30%HCNG

HC	CO	NOx	CO ₂
7.60%	83.50%	53.40%	29.40%

HC : 총 탄화수소량
 CO : 일산화탄소
 NOx : 질산화물
 CO₂ : 이산화탄소

보고되고 있다. 따라서 US'10을 만족하기 위해서는 20% 이상의 수소를 혼합한 HCNG 연료로 대체되어야 한다[Fig.2 참조].

2.3. 국내 수소 및 CNG 충전소 운영현황

천연가스는 가정용과 발전용으로 주로 사용되어 왔으나, 최근 전 세계적으로 낮은 가격과 배출가스가 적은 친환경성이 주목받으면서 수송용 사용이 증가하였다. 우리나라에서는 1998년부터 2000년까지 가스공사에서 수행한 CNG버스 시범운행을 통해 CNG버스의 우수성이 확인되면서, 국내 대기오염 저감을 위해 2000년 6월부터 월드컵 개최도시를 중심으로 천연가스버스를 보급하기 시작하여, 2008년 1만 5,000대를 넘어서 2010년 기준 약 2만대의 CNG 버스가 운행 중이다. [1]

지난 50년간 천연가스 충전소를 운영한 결과 충전소의 폭발 등에 따른 인적, 재산상의 사고는 보고된 바 없다. 이처럼 국내외적으로 안전성이 입증되어 안전거리가 액화석유가스(LPG) 충전소에 비해 상당히 완화되어 전국적인 CNG충전소 인프라가 구축되는 계기가 마련되었다. 2010년 5월 기준으로 국내에서 운영되고 있는 충전소는 고정식 148개, 이동

Table 3. Worldwide HCNG fueling stations

위 치	날짜	수소 생산 기법
Phoenix Arizona	2001년	전기분해, 이송된 수소
Davis California	2004년	액화수소로 이송.
PSU Pennsylvania	2006년	천연가스 개질기로 수소생산
Fort Collins Colorado	2008년	전기분해기로 수소 생산.
Hempstead New York	2010년	전기분해방식 수소생산
Montreal Canada	1994년	전기분해로 수소 생산
Surrey Canada	2001년	배관망이용 수소 이송.
Dunkerrque France	2007년	전기분해기에 현장에서 생산
Toulouse France	2007년	천연가스 개질 수소 생산
Mantova Italy	2007년	천연가스 개질(ENI 개질기)
Assago Italy	2009년	Off-site 수소
Tuscany Italy	2009년	천연가스 개질(ENI 개질기)
Stavanger Norway	2006년	천연가스 개질로 수소 생산, 공장에서 배관을 통해 수소 이송.
Malmö Sweden	2003년	전기분해기는 풍력 에너지를 사용
Goteborg Sweden	2009년	근처 산업지역에서 수소 이송
Delhi India	2008년	전기분해방식 수소생산

식 충전소 15개소 등 모두 163개로 집계되고 있다. 수소 충전소는 연료전지 자동차의 운행을 위한 수소 공급 인프라로서 현재 구축되어 있는 대부분이 실증용 수소 충전소로, 2010년 4월 기준으로 국내 운영 중인 수소충전소는 9개이고, 3~5개가 추가 설치될 예정이다.

2.4. 해외 HCNG 충전소 운영현황

배기가스 배출기준이 EURO-6 및 US'10의 강화된 기준을 만족하기위해 기존의 CNG 차량을 HCNG로 대체하고자 하는 연구가 미국 및 유럽에서 활발히 진행되어 오고 있다. Table 3에 전 세계에서 운영되고 있는 HCNG 충전소 운영 현황을 정리하였다 [8]. HCNG 차량에 대한 시범운행을 위해 미국 및 유럽에서는 일찍이 수소 및 CNG 충전소에 HCNG 혼합가스를 충전할 수 있는 인프라를 구축하여 시범운영하고 있다. 미국에는 현재 6개의 HCNG 충전소가 운영되고 있으며, 수소의 생산방식은 전기분해방식, 액화수소 이송방식, 천연가스 개질방식 등의 다양한 형태로 시범 운영되고 있다. 캐나다에서는 전기분해방식과 수소이송방식의 두 가지 형태로 HCNG 충전소를 시범운영하고 있다. 유럽에서는 프랑스, 이태리, 스웨덴, 노르웨이 등에서 전기분해 및 천연가스개질 방식으로 수소를 생산·공급하여 HCNG 충전소를 운영하고 있다. 아시아에서는 인도에서 전기분해방식을 도입한 HCNG 충전소를 처음으로 시범운영하고 있다.

III. 안전고려 사항

3.1. 가스사고 현황

기체상태의 수소는 색깔이나 냄새가 없으며, 그 어느 가스보다 분자가 가볍고 작다. 그 결과 기체상태의 수소는 물질을 통해 스며들어가고(수소침식), 가장 작은 누출 경로라도 통과하며, 주변 매체보다 더 빨리 확산되며, 다른 어느 가스보다 큰 부력을 가지고 있다. 이러한 특성으로 누설된 수소는 신속하게 위로 올라가고 확산 되지만, 만일 가두어 놓게 되면, 높은 지점으로 모이게 된다. 따라서 수소 저장용기와 배관 시스템은 양호한 실(seal)을 필요로 하며, 누설에 대해 항상 관심을 두어야 한다. 이 외에도, 수소의 누출은 소리가 나지 않은 한 감지장치의 도움이 없이 감지하기가 어렵다[9]. 이런 특성을 고려하여 CNG와 수소를 혼합하는 HCNG 충전소에서 발생할 수 있는 위험 시나리오를 Table 4와 같이 고려해볼 수 있다[5]. 이러한 위험성에 대해 충분한 고려와 안전대책이 필요하다. 그리고 국내에서 발생한 수소관련 사고를 분석함으로써 안전대책을 세우는데 기초자료로 삼고자 한다. Table 5은 1963년부터 2010년까지 국내에서 발생한 수소가스 관련 사고현황이다. 사고의 대분이 사용자의 취급부주의와 재료의 수소침식에 의해 발생하였다[10]. 위험성 시나리오 및 사고현황을 고려하였을 때 다음과 같은 안전사항이 고려되어야 한다.

Table 4. List of hazard scenarios for HCNG station

충전소 시스템	시나리오 내용
수소제조 장치	수소제조장치 내부 수소 폭발. 수소 누출로 인한 폭발성 대기(완충기에서 역류하여 일어나는 누출)
	수소제조장치 내부 수소 폭발. 밀봉된 수소의 대량 손실로 인한 폭발성 대기 (인적요류, 고장)
H2 및 CNG 공급 배관	배관의 손상, 수소취성, 부식 등에 의한 누출 밸브 오작동 등에 의한 설비의 파손 또는 누출
고압수소 저장소	외부 공기에서 수소 폭발. 저장탱크의 밀봉부 누설로 만들어진 폭발성 대기
	외부 공기에서 수소 폭발. 방출 장치를 통한 자체 또는 우연한 수소 방출로 만들어진 폭발성 대기
	외부 화재로 인한 가압 수소 탱크의 파열
HCNG 압축기 및 디스펜서	압축기에서의 가스누출 및 점화원에 의한 화재 발생
	외부 공기에서 HCNG 폭발. 충전시 누출로 인한 폭발성 대기(노즐 연결 상태 불량, 연결부 우발적 분리, 분리 후 차량에서 역류 등)
	노즐 연결에서 HCNG 분출 화염 (노즐 연결 불량 등)
	외부 공기에서 HCNG 폭발. HCNG 호스 누출로 인한 폭발성 대기 (호스 마모, 분리 누출 등)
	디스펜서 장치(노후화, 기계 파손)내 HCNG 화재 또는 폭발
	충전 호스와 노즐의 우발적 분리 및 위험한 회전상태

3.2. 안전거리

위험성 시나리오의 한 가지 사고 가능성 시나리오으로써 저장용기 또는 충전설비의 누출로 인한 메탄 또는 수소가스의 제트 분출을 들 수 있다. 수소는 공기보다 14배 가볍지만 수소의 확산성은 메탄의 3.8 배이다. 절대압력 2bar에서 가스가 배출될 때의 제트 가스의 모멘텀은 가스의 부력보다 강하다. 예를 들면, 일반적인 저장 압력 200bar에서 1/16" 크기의 구멍을 통해 수소 가스가 누출되는 경우 수평 방향의 제트는 부력이 작용하기 전에 축(중앙선) 방향으로 14.6m 이동한 후에야 위로 이동하기 시작한다. 수소의 분출구와 수소 농도가 물분율 4%에 도달하는 위치까지는 모멘텀 우세구간(momentum-dominated regime)으로 이 구간에서는 수소의 부력과 확산성이 사고 시나리오의 위험성을 완화시키는데 큰 역할을 하지 못한다[11]. 그러므로 수소 누출로 인한 사고위험에 대비하여 충분한 안전거리가 필요하다.

3.3. 수소취식

수소가 금속에 흡수되면 금속의 격자에 변화가 생기면서 결정이 약해지는 현상을 수소취성이라 한다. 강철 등의 금속 재료에 수소취성이 일어나면 큰 기계나 구조물이 파괴되는 등 심각한 안전사고의 원인이 되기도 한다. 금속의 부식과 함께 진행되기도 하는데 부식을 일으키는 전기화학적 반응이 수소 약화의 원인이 되기도 하며, 또한 수소취화는 부식 특히 응력부식(stress corrosion)을 촉진한다. 따라서 수소를 혼합한 HCNG 연료의 경우 설비 및 부품에 대한 수소취성을 고려하여야 한다. 고압분위기에서 재료의 수소취성 시험은 ISO 11114-4[12]의 기준을

Table 5. Domestic Hydrogen Gas Accidents(1963~2010)

사고분류	사고 건수	인명피해 (사망/부상)	폭발사고			화재/ 산소 결핍	사고원인
			용기 폭발	밀폐 공간 폭발	가스운 폭발		
용기충전 및 이용사고	17	10/9	6	3	4	4/-	취급부주의 과충전/오충전
석유화학 및 일반공장 공정 중 수소사고	14	9/ 17		2	2	8/ 1	침식, 수소취성 취급부주의
에드벌론 및 풍선사고	12	2/53			11		취급부주의
수소용기수송 중 사고	8	2/ 7			1	3/-	취급부주의
수소배관누출에 의한 사고	2	-				1/-	침식, 부식
기 타	1	-/3					연소실험 중 역화
합 계	54	23/89	6	5	18	16/ 1	

따른다. ISO 11114-4에서는 압력범위를 30MPa로 정하고 있어, 그 이상의 압력 범위에 대한 기준 정립이 필요하다. 하지만 HCNG의 경우 현재 시범 운영되고 있는 차량의 경우 20~25MPa이므로 본 기준을 준용하는데 무리가 없다. 고압수소 환경에서 재료의 취성시험을 미국의 Sandia Lab과 일본의 신일본제철에서 실시한 바 있다. 70MPa 이상의 수소압력에서도 취성이 없는 것으로 확인된 금속은 SUS316, SUS310 및 AL6061 등이다. HCNG의 경우 이보다 사용 압력이 낮은 20~25MPa 환경이므로 강철 재료 중에는 SUS316, SUS310, SUS304, SUS347 등이 사용가능하고, 알루미늄 재료는 모두 사용가능하며 순수 티타늄 등이 사용가능하다. 탄소합금강 중에는 인장강도가 132ksi(약 900MPa) 미만인 금속이 사용 가능한 것으로 나타나고 있다[13].

3.4. 점화원

수소/산화제 혼합물의 점화에 필요한 에너지는 매우 작다. 그러므로 수많은 전기, 열 및 기계적 점화원들이 존재한다. 정전기 방전으로 이어지는 전하의 축적, 정전기 방전, 전기적 아크(arc), 낙뢰 방전, 전기적 단락 등이 전기적 점화원으로 간주되는 것들이다.

기계적 점화원의 가능성이 있을 것으로 간주되는 현상들은 기계적 충격 혹은 마찰 및 마손(galling), 금속 파손(metal fracture) 및 인장 파열(tensile rupture), 그리고 기계적 진동과 반복적인 굴곡(flexing) 등이 있다. 그리고 개방된 화염 및/혹은 뜨거운 표면(ex. 용접 및 담뱃불), 배기 방출(ex. 내연 엔진(열기관), 배기 굴뚝), 폭약/화약(장입)(explosive charges) (ex. 건축공사장의 화약, 불꽃놀이, 불꽃제조 장치), 촉매 및 반응성 화학 재료 등이 열적 점화원으로 간주된다[10, 14].

3.5. 수소가스 감지

수소가스는 육안 및 후각으로 감지할 수 없기 때문에 다음과 같은 장소에는 수소 감지기의 설치가 필요하다[9].

- 수소가 누출 되거나 혹은 옆질러질(유출될) 수 (spill) 있는 곳
- 일상적으로 접촉의 분리가 일어나는 수소 연결부(예를 들면, 수소 재주입 포트)
- 수소가 누적될 수 있는 장소
- 건물 내 공기 취입 덕트(만일 수소가 건물 내부로 반입될 수도 있을 경우)
- 건물 내 공기 배기 덕트(만일 수소가 건물 내부에서 방출될 수도 있을 경우)

3.6. 화재 감지

불순물이 없을 경우에는, 수소/공기 불꽃은 햇빛 아래서 인간의 눈으로는 거의 보이지 않는다. 또한, 수소 불꽃의 방사율도 낮다. 따라서 수소의 불꽃은 눈으로 보기도 어렵고 느끼기도 어렵다. 이와 같은 수소 불꽃의 특성 때문에 수소의 누출, 유출, 혹은 위험한 누적이 발생할 수 있는 곳에 수소 불꽃을 감지할 수 있는 화재감지기의 사용이 필요하다[9].

3.7. 해외 HCNG 충전소 기준 분석

현재 HCNG 충전소는 미국, 캐나다 및 유럽의 몇 나라에서 시범운영을 하고 있으나, HCNG 충전소 기준이 마련되어 있지 않은 상태이다. 따라서 충전소의 설계 및 운영에 있어 기존의 CNG 및 수소기전을 준용하여 사용하고 있는 실정이다. Table 6에서 해외의 HCNG 충전소 운영에 적용된 기준사례를 살펴 보았다. 충전소의 설계·운영에서 NFPA 52를 기본으로 하여 수소관련 안전기준인 NFPA55, NFPA2, ISO20100이 적용되었다. 압력용기 및 배관에 대해서는 ASME 코드를 참조하였고, 자동차 연료부품 및 충전설비는 SAE와 CSA 코드를 인용하였다[15].

NFPA 52(2006)에 의하면 수소가 20%까지 함유된 HCNG는 CNG로 간주했으나, 현재 운영되고 있는 HCNG 충전소들은 그 이상의 수소를 함유하고 있어 20% 이상 수소가 함유된 HCNG에 대한 추가적인 검토가 필요하다고 보고 있다. 따라서 최근 개정판인 NFPA 52(2010)판에는 HCNG에 대한 언급이 누락되었으며, 이에 대한 추가적인 검토가 이루어진 후 개정판에 포함될 예정으로 있다[16].

Table 6. Code and Standards for HCNG

Installation Codes
· NFPA 55, For Storage, Use & Handling of Compressed Gases & Cryogenic Fluids in Portable and Stationary Containers, Cylinders and Tanks
· NFPA 52, Vehicular Fuel Systems Code
· NFPA 2(Draft), Hydrogen Technologies Code
· ISO 20100, Gaseous Hydrogen Fueling Station
· I-Code, International Fire Code- Chapter 22
Component Codes
· SAE J2600, Compressed H2 Surface Vehicle Refueling Connection Devices
· SAE J2578, General Safety of H2 Fueled Vehicles
· ASME BPVC, Section VIII Div 3
· CSA, Canadian Standards Association
· ASME / ASTM B31.1, Piping Specification

IV. 결 론

HCNG는 기존의 CNG 인프라의 활용, 점점 강화되는 배기가스 배출기준의 충족, 그리고 다가오는 수소시대를 대비하여 수소시대로 가기위한 기술적, 사회적 가교역할을 한다는 점에서 매우 중요한 기회이자 도전이다.

HCNG가 국내에 정착하기 위해서는 CNG 보급에 서도 그러했듯이 정부의 적극적인 지원과, 안전성에 기반을 둔 충전 인프라가 뒷받침되어야 한다. 우리나라의 경우 CNG 충전소가 전국에 분포하여 상당한 인프라가 구축된 상황이어서, CNG 인프라를 활용하여 HCNG로 전환할 수 있다면 매우 효율적으로 향후 전개될 배기가스 배출기준에 대응하고, 수소시대를 대비 할 수 있게 된다.

해외에서 운영되고 있는 HCNG 충전소의 현황 및 적용 기준을 보게 되면, 미국 및 유럽을 중심으로 전세계에 약 16개의 HCNG 충전소가 시범 운영되고 있으나, 아직 HCNG 충전소 설계 및 운영에 관한 기준은 정립되어 있지 않다. 기존의 CNG 및 수소 충전소에 관한 기준을 병행 적용하여 시범사용하고 있는 것으로 조사되었다. 미국에서는 NFPA 52를 기본코드로 하여 HCNG 충전소를 설계·운영하고 있으며, 향후 개정판에서 HCNG에 관한 조항을 포함하기 위해 검토 중에 있다.

국내에서도 HCNG 충전소를 운용하고자 할 때, 기존에 정립된 CNG 충전소와 수소충전소 기준을 준용하여 혼합가스에 대한 충전소 운용을 검토해야 한다. 기존에는 수소와 CNG가 고압가스안전관리법에 의해 관리되고 있어, 그 안에서 혼합가스 제조에 따른 제반 사항을 적용하여 기준을 정립하는 방안이 가능하였으나, 2010년 관련법령이 개정되면서 CNG 충전소 기준이 도시가스사업법으로 편입되어, CNG와 수소가 별도의 관리법을 따르게 되었다. 따라서 국내에서도 수소가 혼합된 HCNG를 어느 범주로 볼 것인지를 명확히 하여야 한다. 현재 진행되고 있는 미국 및 ISO의 HCNG에 대한 구분 기준을 고려하여 국내에서도 이에 상응하는 기준의 적용이 이루어져야 한다.

또한 기존의 CNG 충전소를 HCNG로 전환하기 위해서는 수소제조시설 및 혼합가스를 제조하는 시설을 추가하여 HCNG를 충전할 수 있는 규정이 마련되어야 한다. 그러기 위해서는 HCNG 충전소에 대한 충분한 안전성 연구가 이루어져야 한다. HCNG 충전소 장치 및 설비에 대한 위험성 시나리오를 작성하고 위험성평가를 실시하여 합당한 안전대책을 제시

함으로써 HCNG 충전소 기준마련의 법적토대를 마련해야 한다.

감사의 글

본 연구는 2009년도 환경부 무-저공해자동차사업단의 연구비 지원으로 수행되었으며, 지원에 감사를 드립니다.

참고문헌

- [1] *그린카 시장의 실태와 전망*, 테이코산업연구소, (2009)
- [2] *Hydrogen/CNG Blended Fuels Performance Testing in a Ford F-150*, Idaho national lab., (2003)
- [3] Malmö Hydrogen and hydrogen/CNG filling station, Bengt Ridell Carl Bro Energikonsult AB, paper presented at the Hydrogen and Fuel cells 2004 Conference and Trade show, Toronto, Canada, September 27, 2004.
- [4] E. Dejean, I. Alliat, T. Muller, "ALT-HY-TUDE project : the 2 first hydrogen / Hythane refuelling stations in France," *Proceedings, EHEC 22-25 November 2005, Zaragoza(Spain)*.
- [5] I. ALLIAT, S. CHELHAOU, L. PERRETTE, B. VAN RIEL, "HYDROGEN REFUELLING STATIONS: Example of a safety study for a hydrogen - natural gas refuelling station", *Proceedings, WHEC 13-16 June 2006, Lyon(France)*.
- [6] Joel R. Anstrom and Zoltan Rado, "Hydrogen Station and Fleet Demonstration at Penn State Alternative Fuel Incentive Grant 2006", Final Report, The Pennsylvania Transportation Institute, (2009)
- [7] Roberta Brayer, Donald Karner and James Francfort, "Hydrogen and Hydrogen/Natural Gas Station and Vehicle Operations - 2006 Summary Report", U.S. Department of Energy FreedomCAR & Vehicle Technologies Program, Idaho National Laboratory, (2006)
- [8] Worldwide Hydrogen Fueling Stations, <http://www.fuelcells.org>
- [9] Guidelines for Hydrogen System Design, Materials Selection, Operations, Storage, and Transportation, *SAFETY STANDARD FOR HYDROGEN AND HYDROGEN SYSTEMS*, NASA, (2005)
- [10] 문일, 이영희, 김진경, *수소안전*, 도서출판 아진, (2007)
- [11] *Compressed Natural Gas and Hydrogen Fuels:*

- Lessons Learned for the Safe Deployment of Vehicles*, U. S. Department of Energy and U.S. Department of Transportation Workshop Notes, (2009)
- [12] ISO 11114-4, *Transportable gas cylinders—Compatibility of cylinder and valve materials with gas contents —Part 4: Test methods for selecting metallic materials resistant to hydrogen embrittlement*, (2005)
- [13] 한국가스안전공사, 2009, *고압수소 복합용기 라이너에 대한 결함평가 방안 연구*, KGS 2010-005, pp.24~31
- [14] 김종원 등 15명 공저, *수소에너지*, 도서출판 아진, (2005)
- [15] Naser Chowdhury, Review of Critical Component and System Standards, *Hydrogen Codes and Standards Workshop*, New Delhi- India, (2008)
- [16] NFPA52, *Compressed Natural Gas Vehicular Fuel Systems*, (2006, 2010)