



국내 수소타운 내 0.1MPa 이하 저압 수소 사용시설의 안전관리 항목 분석

이덕권 · 허두현* · 이선규* · 이정운* · 유근준* · 이연재* · †김희식

서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학과, *한국가스안전공사 가스안전연구원
(2015년 12월 7일 접수, 2015년 12월 23일 수정, 2015년 12월 24일 채택)

An Analysis of Safety Management Items for Low Pressure Hydrogen Facility below 0.1MPa in Domestic Hydrogen Town

Duk-Gwon Lee · Doo-Hyun Heo* · Sun-Kyu Lee* · Jung-Woon Lee*

Geun-Jun Lyu* · Yeon-Jae Lee* · †Hie-Sik Kim

School of Electrical & Computer Eng., University of Seoul, Seoul 139-743, Korea

*Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation, Chungbuk 369-811, Korea

(Received December 7, 2015; Revised December 23, 2015; Accepted December 24, 2015)

요약

전 세계적으로 수소에너지에 대한 관심이 점차 증가함에 따라 수소 생산, 저장, 운송, 이용 분야에서 응용 기술의 개발이 활발히 진행되고 있다. 국내에서도 울산 수소타운을 조성하여 시범운영 중에 있어 수소에너지 응용처 확대에 대한 가능성을 높이고 있다. 울산 수소타운은 가스 사용 압력에 따라 고압부와 저압부로 구분할 수 있는데 고압부는 ‘고압가스안전관리법’을 적용하여 안전관리를 하고 있고 저압부는 ‘수소타운 시범사업의 안전관리에 관한 지침’을 적용하여 운영 중에 있다. 본 논문에서는 울산 수소타운 내 0.1MPa 이하 저압 수소 사용시설의 안전관리 효율성 향상을 위해 저압 수소사용 시설 및 안전관리 항목 분석을 통해 안전관리 방향성을 검토하고 향후 개선 방향을 제시하고자 하였다. 본 연구의 결과를 통해 국내 수소타운 활성화 및 안전 관리 효율성 증대에 도움이 될 수 있을 것으로 기대한다.

Abstract - As the interest in hydrogen energy is being increased, it is a widely issue to develop a lot of hydrogen technologies in the field of production, storage, transportation, application and others. In the aftermath, there is a hydrogen town in Ul San, which is expected to expand application fields of hydrogen energy, as a demonstration project. The hydrogen town in Ul San can consist of high and low pressure part by the gas pressure. The high pressure part is managed by ‘the high pressure gas safety control act’. And, low pressure part is managed by ‘the guideline for the safety management of demonstration project of hydrogen town’. In this paper, to improve efficiency of safety management, the direction of safety management is reviewed by an analysis of low pressure hydrogen facility and safety management items. And then, some improvement directions are suggested. In the end, it is expected that the results of this study could help to activate construction of hydrogen town and improve efficiency of safety management as well.

Key words : hydrogen town, low pressure hydrogen, safety management, hydrogen facility

I. 서 론

수소는 이미 유럽, 미국, 일본 등 기술 선진국을

중심으로 분산발전, 자동차, 소형제품 등의 다양한 분야에서 응용 기술의 다변화를 통해 차세대 연료로써 주목받고 있다. 특히, 분산발전과 자동차 분야는 국가 간 기술경쟁이 점차 심화되고 있는 핵심 응용 분야로 국내·외적으로 기술 상용화 및 보급 활성화를 위한 다양한 프로젝트가 진행되고 있다.

†Corresponding author: drhskim@uos.ac.kr

Copyright © 2015 by The Korean Institute of Gas

현재 수소 응용 분야에서 핵심적인 역할을 하는 기술은 연료전지 기술이다. 화학에너지를 전기에너지로 바로 전환시키는 연료전지의 고효율 특성 때문에 전기 및 열을 활용하는 다양한 분야에 활발히 적용되고 있다[1]. 분산발전 분야는 각국의 기술 경쟁 및 상용화 전략이 다양화되고 있는 시점에 놓여있다. 현재 세계적으로 연료전지 기술 개발 및 보급이 가장 앞서 있는 일본은 2014년까지 1kW급 이하 건물용 연료전지가 약 13.8만 여대 보급된 것으로 알려져 있으며 2020년까지 약 140만 여대 보급을 목표로 하고 있다[2]. 유럽에서도 독일, 영국, 덴마크 등 연료전지 선진 개발국을 중심으로 한 국가별 보급 사업과는 별도로 2013년 'European-Wide m-CHP field demonstration scheme'을 출범하여 12개 회원 지자체에 2017년까지 약 1000대의 건물용 연료전지를 설치할 계획이다[2]. 국내에서도 신재생에너지 공공기관 설치 의무화 시장 및 그린홈 100만호 사업을 통해 2020년까지 건물용 연료전지 시스템을 10만호 보급하는 등 다양한 사업을 통해 연료전지 시스템 보급에 집중할 예정이다. 상기 분산발전 분야는 이미 다양한 개발 사업 및 보급 사업을 통해 수소가 에너지 자원으로써의 무궁한 잠재력을 가지고 있다는 것을 확인시켜 주었으며 태양광, 풍력 등과 같은 신재생에너지 분야와의 융합을 통한 수소 인프라 확대의 가능성도 확인시켜주었다. 분산발전 분야뿐만 아니라 자동차 분야에서는 현대 자동차가 세계 최초로 양산형 수소·연료전지차인 투싼ix FCEV를 개발하여 수소·연료전지차 분야의 퍼스트 무버(First Mover)로 발돋움하였고 뒤 이어 일본의 토요타에서 미라이를 상용화하여 수소 연료를 이용하는 자동차 분야의 경쟁 체제를 구축하였다. 이외 에도 혼다, GM, 닌자 등 글로벌 자동차 제조사에서도 저마다 수소·연료전지차를 개발하여 북미, 호주, 일본, 유럽 등의 지역에서 시범사업, 리스사업을 진행 중에 있다[3].

수소타운 역시 수소 인프라 저변 확대를 위한 응용 분야 중 하나로써 덴마크, 캐나다, 일본 등 국제적으로 적지 않은 시범 프로젝트가 운영 중에 있다. 그 중 대표적인 사례가 일본과 우리나라의 수소타운 시범 사업으로 일본은 기타큐슈지역에서 신일본 제철의 수소를 공급받아 상업용 및 공공시설에 연료전지를 설치하여 운영 중에 있고 국내에서도 세계 최대 수소타운인 울산 수소타운이 2013년에 완공되어 시범 운영 중에 있다.[4]

Fig 1과 같이 수소타운은 물의 전기분해, 수증기 개질반응, 부생가스 분리 등의 공정을 통해 생산된 수소를 배관 또는 운송수단을 통해 특정지역에 조성된 수소 사용시설의 연료전지를 포함한 수소 이용기

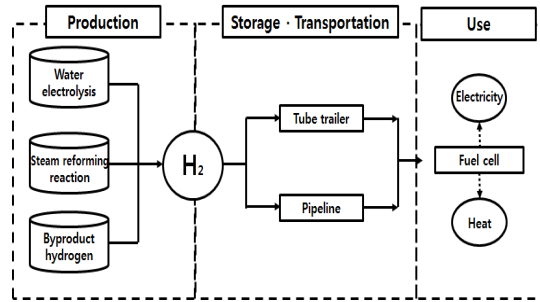


Fig. 1. Conceptual diagram of hydrogen town.

기를 통해 스스로 생활에 필요한 전기와 열을 생산하는 에너지 자립 마을이다. 국내에서 운영 중인 울산 수소타운은 부생수소를 배관을 통해 원격지의 수요지역에 공급하는 시스템으로 1MPa 이상 고압부의 가스시설에 대한 안전관리는 '고압가스안전관리법'을 적용하여 운영 중에 있으며 0.1MPa 미만의 저압부에 대한 안전관리는 기존 '도시가스 사업법'의 상세기준인 'KGS FS551-일반도시가스사업 제조소 및 공급소 밖의 배관의 시설·기술·검사 기준(이하 KGS FS551)', 'KGS FS552-일반도시가스사업 정압기의 시설·기술·검사 기준(이하 KGS FS552)' 및 'KGS FU551-도시가스 사용시설의 시설·기술·검사 기준(이하 KGS FU551)'을 준용한 '수소타운 시범사업의 안전관리에 관한 지침'을 제정하여 적용 중에 있어 상기 지침에 대한 정확한 분석 및 안전관리 효율 향상에 대한 검토가 필요할 것으로 생각된다[5-7].

본 논문에서는 울산 수소타운 내 0.1MPa 미만의 압력 환경으로 운영되는 주요 수소 사용시설 및 해당 안전관리 항목 분석을 통해 안전관리 방향성 제시 및 효율성 제고에 기여하고자 하였다.

II. 울산 수소타운

울산에 위치한 산업단지에서 생산되는 부생수소를 이용해 연료전지가 발전할 수 있는 전력은 약 170MWh로 양질의 에너지 공급원이 될 수 있는 가능성이 매우 높다. 따라서 해당 지자체에서는 울산의 이러한 장점을 극대화하고 국가 에너지 정책에 부응하고자 세계 최대의 수소타운을 조성하였다. 울산 수소타운은 울산시 온산읍 일대에 조성되어 운영되고 있으며 울산광역시와 울산테크노파크가 중심이 되어 국내 연료전지 제조사 및 수소설비 및 안전관리 유관기업 등이 참여하였다. 또한, 근교의 산업단지 내 화학 플랜트의 부생수소를 공급받아 울산 수소타운에서 생산할 수 있는 전력량은 약 195kW

로 건물용 연료전지 시스템이 1kW급 140기, 5kW급 9기, 10kW급 1기가 각각 설치되어 있다[8]. 해당 연료전지 시스템은 국내 A社의 사택, 기숙사 및 체육관과 온산읍사무소에 설치되어 운영되고 있으나 본문에서는 1kW급 연료전지 시스템 140기가 설치되어 있는 A社의 사택부지 내에 조성된 수소타운을 중심으로 분석을 진행하였다.

울산 수소타운은 공급되는 수소의 압력에 따라 고압부와 저압부로 구분할 수 있는데 산업단지에서 수소타운의 압력조정설비까지의 구간이 약 1.5MPa의 압력으로 운영되고 있어 고압부로 구분할 수 있으며 압력조정설비에서 각 세대의 연료전지 시스템까지의 구간이 약 0.1MPa의 압력으로 운영되어 저압부로 구분할 수 있다. 산업단지에서 수소타운의 압력조정설비까지의 구간과 압력조정설비에서 각 건물에 분기되는 배관은 모두 지하에 폴리에틸렌 피복강관을 매설하여 수소를 이송한다. 또한, 각 건물의 외벽의 수소배관은 스테인리스 스틸 배관을 이용하여 각 가정의 수소 이용기기인 연료전지에 수소를 안전하게 공급한다. 연료전지는 건물용 연료전지로 가장 기술 성숙도가 높은 PEMFC(Proton Exchange

Membrane Fuel Cell, 고분자전해질연료전지)을 설치하여 운영 중에 있으며 연료전지에서 나오는 전기를 활용하여 각 세대에 전기를 공급하고 배출되는 열은 열교환을 통하여 온수 저장소에 저장하여 난방과 온수 공급에 활용하고 있다. 각 세대에는 연료전지 외에도 보일러를 추가로 설치하여 온수 및 난방 수요가 급격히 늘었을 경우, 안정적인 온수와 동시에 난방에도 도움을 줄 수 있도록 설계되어 있다.

III. 저압 수소시설

3.1. 압력조정설비 및 부지 내 매설배관

압력조정설비는 1.5MPa의 수소 가스를 0.1MPa 이하의 저압 수소로 변환해주는 역할을 하는 설비로 부지 외부 수소 공급배관과 연결되는 수소타운 부지 경계 부근에 설치되어 있으며 수소타운 내 연료전지에 수소를 안정적으로 공급하는데 중요한 역할을 하고 있다. 압력조정설비의 배관은 대부분 스테인리스 스틸 배관으로 구성되어 있으며 수소 공급의 안정성을 확보하기 위해 예비 압력 조정기를 설치하여 주 조정기에 문제가 발생했을 경우 자동으로 보조 라인으로 변경되어 가스가 공급되도록 구성되어 있다. 또한 공급되는 수소에 함유되어 있는 먼지 또는 유분 등을 제거하는 필터와 각 배관의 상태를 관찰할 수 있는 압력계와 유량계 등으로 구성되어 있다. 특히 압력 조정부 후단에 설치되어 있는 안전밸브는 공급되는 가스의 압력이 설정압력보다 높게 유지될 경우 자동으로 가스를 압력조정설비 밖으로 배출시켜 안전 압력을 유지하도록 하는 기능을 한다. 상기 압력조정설비는 외부인에 의한 오작동을 방지하기 위해 캐비닛 형태의 보관함 안에 배관이 구성되어 있으며 수소 누출 시 신속하게 대응할 수 있도록 가스 누출 검지기도 설치되어 있다.

부지 내 지하에 매설되어 있는 저압의 수소 공급 배관은 폴리에틸렌 피복강관을 사용하고 있으며 배관과 배관의 접합에는 용접(Welding)을 이용하고 있다. 또한, 설치된 매설배관 상부에 강제 보호관을 설치하여 타 공사에 의한 배관 파손을 방지하고 있으며 희생 양극법을 이용한 부식방지 장치를 설치하여 배관의 부식에 의한 파손을 예방하고 있다.

3.2. 수소 사용시설

매설배관을 거쳐 수소타운 내 각 건물의 실내로 연결되는 수소 배관은 스테인리스 스틸 배관을 사용하며 입상관에서부터 분기되어 각 가정의 연료전지실로 연결되어 있다. 연료전지실은 기존의 보일러실 구조와 유사한 형태로 구성되어 있지만

Table 1. Outline of hydrogen town project in UI-San [8]

위 치	울산시 온산읍 일대		
참여기관	울산광역시, 울산테크노파크, 연료전지 제조사, 수소설비 및 안전관리 유관기업, 수소생산 기업		
발전용량	연료전지	설치대수	합계
	1kW급	140기	195kW
	5kW급	9기	
	10kW급	1기	

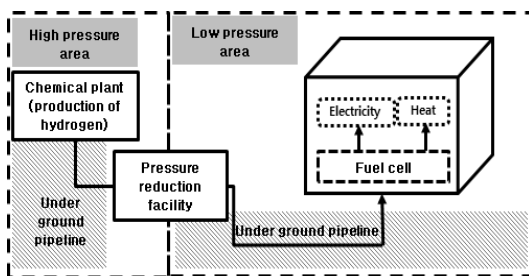


Fig. 2. Construction of hydrogen town in UI-San.

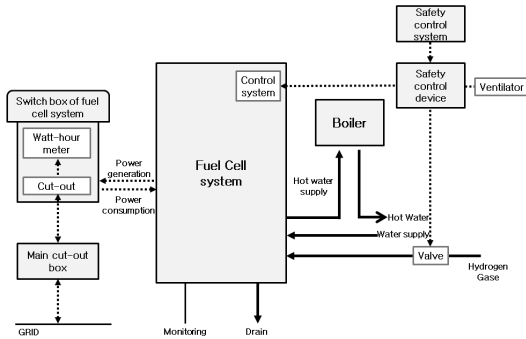


Fig. 3. Construction of fuel cell room.

연료전지 시스템 이용 및 관리에 필요한 주변 설비들이 추가 설치되어 있다는 점이 기존 보일러실 구조와의 차이점이다. 연료전지실에는 가정용 보일러와 1kW급 PEMFC 시스템이 설치되어 있는데 기본적인 운영방식은 연료전지 시스템을 이용하여 전기와 열을 생산하여 세대에서 요구하는 수요 전력과 난방·온수 공급에 사용한다. 이때, 가정용 보일러는 연료전지 시스템이 수용하지 못하는 난방·온수 수요가 있을 경우 이를 보완하는 역할을 한다. 주변 설비에는 계통과 연계되어 생산된 전기를 계통으로 송전하는 배선과 부족한 전기를 수전하기 위한 배선이 설치되고 보일러와 연계된 물 공급라인이 설치되어 있다. 또한 중앙의 관리소에서 각 세대의 연료전지 시스템 동작 현황을 파악하기 위해 설치된 통신라인이 구축되어 있다. 그 외에 연료전지 시스템과 보일러에서 배출되는 배기가스 배출과 필요한 공기를 공급하기 위한 강제 급배기식 배기통이 각각 설치되어 있다.

IV. 저압 수소시설의 안전관리

4.1. 압력조정설비의 안전관리 항목 분석

울산 수소타운의 A社 사택 부지 내에 설치된 압력조정설비는 사택 내 모든 1kW급 연료전지 시스템에 수소공급을 담당하고 있는 압력조정설비로써 KGS FS552의 기준을 바탕으로 안전관리 항목이 적용되어 있으며 캐비닛형 구조로 제작되어 있다.

해당 압력조정설비의 안전관리 시 검토해야 할 주요 항목으로는 시설배치, 재료 및 설비기준, 사고예방, 표시기준 등이 있다. 해당 주요 항목을 간략히 살펴보면 압력조정설비는 유지관리가 편리하고 해당 시설에 대한 위해 우려가 없도록 설치되어야 하며 원칙적으로 건축물 외부에 설치되어야 한다. 구축하기

위해 이용되는 재료는 불연 재료의 사용이 필수적이며 특히 캐비닛은 내식성이 있는 재료로 제작이 되어야 한다. 압력조정설비의 기초는 철근콘크리트와 앵커 보울트를 사용하여 시공하도록 하며 내부는 설비 조작에 필요한 필수 공간을 확보하고 침수방지 등의 추가 조치가 필요하다. 또한 안정적인 가스 공급을 위해 예비 압력 조정기를 설치하여 점검 또는 고장 시 나타날 수 있는 장애를 예방할 수 있어야 한다. 이상 상황에 대비하여 안전성 확보를 위한 대표적인 부속설비로는 안전밸브와 가스방출관이 있는데 압력조정설비의 이상 압력이 감지되었을 경우 안전밸브가 자동으로 동작하여 가스 방출관을 통해 가스를 방출할 수 있는 구조로 제작되어야 한다. 특히, 가스방출관은 가스 방출구가 주변의 영향을 받지 않도록 하여 지면으로부터 약 5m 이상 높은 곳에서 방출될 수 있도록 설치되어야 한다. 또한, 해당 시설은 외부인에 의해 조작되거나 파손될 수 없도록 경계책을 설치하여 출입을 통제할 수 있도록 해야 하며 명확히 식별 가능한 경계표지를 설치하여 안전성 확보의 필요성을 인식시킬 필요가 있다. 특히, 이상음, 누출음 등의 위급상황 인지방법 및 적합한 대처방법과 함께 안전관리자, 시설관리실 등의 긴급 연락정보 등을 표시할 필요가 있다.

4.2. 매설배관의 안전관리 항목 분석

수소타운의 A社 사택 부지 내 매설배관은 KGS FS552의 기준을 바탕으로 안전관리 항목이 적용되어 있으며 모든 배관은 폴리에틸렌 피복강관을 사용하고 있다. 상기 폴리에틸렌 피복강관은 1960년에 천연가스 수송을 위해 처음 알려진 것으로 그 이후로 현재까지 많은 사업에서 넓게 사용되고 있다[9].

안전관리 시 검토해야 할 주요 항목으로는 배관설비의 재료, 구조, 접합, 설치 등이 있다. 배관은 수소의 성질, 상태, 온도, 압력 등의 환경요소에 알맞은 것을 사용하도록 되어 있으며 하중 및 충격에 견딜 수 있는 강도와 내식성 등의 특성을 가진 배관으로 선정하여야 한다. 사용 가능한 배관은 KS 규격에 적합한 배관으로 탄소강관, 스테인레스 강관, 동합금관, 니켈합금관 등이 있으며 지하 매설 배관으로는 폴리에틸렌 피복강관, 가스용 폴리에틸렌관 등이 있으나 가스용 폴리에틸렌관은 현재 수소타운에 적용되지 않았다. 일반적으로 저압의 수소를 사용하는 수소타운에 관한 안전기준은 개발되어 있지 않은 상태로 각 국가에서는 기존의 고압가스에 사용되는 규격을 준용하고 있는 것으로 파악되고 있다. 이러한 수소배관과 관련하여 국제 규격의 주요 내용을 살펴보면 'ANSI/AIAA G-095 : Guide to Safety of Hydro-

gen and Hydrogen System(이하 ANSI/AIAA G-095)', CGA-5.6 : Hydrogen pipeline Systems(이하 CGA-5.6)', 'ASME B31.12 : Hydrogen Piping and Pipelines(이하 ASME B31.12)' 및 'International Fuel Gas Code(이하 IFGC)' 등에서 관련 내용을 찾아볼 수 있다[10-13]. 상기 기준 및 규격에서 공통적으로 언급하고 있는 내용은 수소 원자의 침투 때문에 발생하는 금속 재료의 연성 또는 인성의 감소와 이로 인한 배관 부식이 있다. 세부 내용을 간략히 살펴보면 IFGC에서는 SUS 300계열의 스테인리스 강관, CGA G-5.6에는 합금의 강도가 비교적 낮아서 수소 취성 등에 내성을 갖는 탄소강관의 사용을 허용하고 있다. ANSI/AIAA G-095에서는 약 16가지의 파이프라인에 대한 사용여부를 나타내고 있는데 알루미늄 합금, 오스테나이트계 스테인리스강, 탄소강 등이 수소 배관에 적합하고 니켈 합금, 티타늄 합금 등은 사용이 불가능한 것으로 평가하고 있다. 특히, KGS 코드에서 매몰배관으로 분류되어 있는 가스용 폴리에틸렌관은 CGA, ASME 규격 등에서 저유량 및 저압의 용도로 제어 가능한 조건에서 사용하는 것을 제외하고는 삼투성 문제로 사용을 삼갈 것을 명시하고 있어 수소타운 매설배관으로 사용 가능 여부에 대한 검토가 필요하다. 배관의 접합은 원칙적으로 용접시공 및 비파괴 시험을 적용할 것을 명시하고 있으나 용접이 불가할 경우 플랜지, 나사 접합 등의 방법을 이용할 수 있다.

4.3. 수소 사용시설의 안전관리 항목 분석

수소타운 내 각 세대의 연료전지시설에 구성된 연료전지 시스템과 보일러 및 주변설비, 수소배관, 전기배선 등이 안전관리 시 주목해야 할 주요 항목들로 KGS FU551에 관련 내용이 명시되어 있다.

연료전지 시스템은 기본적으로 환기가 잘 되는 곳에 설치하여 배기가스가 누출되었을 경우 발생할 수 있는 질식 사고를 예방할 수 있어야 하며 설치 장소에는 가연성 물질 및 인화성 물질이 보관·취급되지 않아야 한다. 또한 연료전지 시스템 접지 및 전기 안전 설비를 구비하여 발전 및 수전 시 감전이나 화재의 위험성이 없도록 해야 하는 등 설치 시 전기·가스 안전에 대한 세심한 검토가 필요하다. 이에 따라 가스 배관의 이음부와 전선과의 이격거리, 화기와의 이격거리 등 세부적인 설치 규정 등이 자세히 명시되어 있고 수소 배관 또한 소정의 설치 규정에 따라 설치위치, 고정간격 등의 안전항목을 따르도록 되어 있다.

일반적으로 연료전지는 시스템 내부에 수소가스의 누출을 감지할 수 있는 가스누출검지기가 장착되

Table 2. Domestic and foreign alarm level of hydrogen leak

검토 항목	수소타운 안전관리 지침	CGA G-5.4	KS B ISO 15916	OSHA
경보 설정	폭발하한계의 1/4	연소하한계의 1/4	연소하한계의 1/4	연소하한계의 1/10

어 있어 수소누출 시 시스템이 안전하게 정지할 수 있도록 하고 있으며 연료전지실 실내에도 CO검지기 및 가스누출검지기를 설치하여 사고를 예방하고 있다. 가스누출검지기는 탐지하려는 가스 이외의 가스에 반응하여 경보를 울리지 않고 설정된 농도에서 일정시간 내에 정확한 경보를 울리는 것이 중요하다. 울산 수소타운에 설치된 가스누출검지기는 폭발하한계 1/4이하에서 60초 이내에 경보가 울리도록 규정되어 있는데 이와 관련하여 'CGA G-5.4 : Standard for hydrogen piping systems at user locations', 'KS B ISO 15916 : 수소 시스템의 안전을 위한 기본적인 고려 사항' 등의 기준을 살펴보면 해당 규격 역시 폭발하한계의 1/4에서 경보를 울리는 것으로 규정되어 있는데 'OSHA : Permit-required confined spaces'에서 제시하고 있는 설정치에는 폭발하한계의 1/10 수준으로 비교적 엄격한 기준을 적용하는 것으로 파악되고 있다[14-16]. 수소의 경우 타 가연성 가스에 비해 확산속도가 매우 빠르기 때문에 향후 수소 누출에 따른 유동특성 분석 및 가스누출검지기 특성 분석 등의 추가연구를 통해 수소타운 내 저압시설에 적합한 경보 설정치의 도출이 필요하다. 이 외에도 확산속도가 빠른 수소의 특성에 맞는 자연환기설비의 크기 및 가스누출검지기 최적 설치 위치 등의 안전설비 구조에 대한 검증이 필요할 것으로 보인다. 또한, 울산 수소타운에 공급되는 수소는 '수소타운 시범사업의 안전관리에 관한 지침'에 품질 규격을 명시하여 관리하고 있다.

울산 수소타운은 부생수소를 공급받아 연료로 활용하고 있지만 수소 생산방식은 수전해, 개질방식 등 다양한 방법이 존재하기 때문에 각각의 생산방식의 특성을 모두 포함할 수 있는 품질 규격이 필요할 것이다. 생산방식에 따라 차이가 있을 수 있으나 연료로 공급되는 수소에는 일산화탄소 및 암모니아 등 다양한 불순물을 포함하고 있을 가능성이 있다. 예를 들어 현재 수소타운 안전관리 지침에는 반영되지 않은 암모니아의 경우에는 NH₄⁺ 이온 형태가 nafion 막에 영향을 미쳐서 멤브레인의 이온전도도를 떨어뜨리기 때문에 성능저하가 발생할 수 있다. 이러한

Table 3. Comparative table of hydrogen quality standards[18-20]

검사항목	단 위	수소타운 시험사업의 안전관리에 관한 지침	ISO 14687-2	ISO 14687-3	CGA G-5.3			
					유형 I 기화수소 최대치			
					일반 산업 용도	연료, 수소화합 및 수화학 용도	분석 측정기, 추진체 용도 및 연료전지	반도체, 분석, 특수 용도 및 연료전지
순도	% (mol/mol)	99.90이상	99.97	99.90	99.95	99.99	99.995	99.999
수분	μ mol/mol	응축되지 않음	5	응축되지 않음	-	-	-	-
총 탄화수소	μ mol/mol	응축되지 않음	2	2	10	5	0.5	1
산소	μ mol/mol	100이하	5	50	10	5	1	1
헬륨	μ mol/mol	-	300	1000	-	-	-	-
질소	μ mol/mol	400이하	100	1000	400	25	2	2
알곤	μ mol/mol	-	100	1000	-	-	-	-
포름알데히드	μ mol/mol	-	0.01	0.01	-	-	-	-
이산화탄소	μ mol/mol	1이하	2	2	10	0.5	-	2
일산화탄소	μ mol/mol		0.2	0.2	10	1	-	2
전유황	μ mol/mol	0.1이하	0.004	0.004	-	-	-	-
포름산	μ mol/mol	-	0.2	0.2	-	-	-	-
암모니아	μ mol/mol	-	0.1	0.1	-	-	-	-
할로젠 화합물	μ mol/mol	-	0.05	0.05	-	-	-	-

멤브레인의 성능저하는 일산화탄소와는 달리 스택의 성능회복이 불가능하기 때문에 연료전지 성능 유지에 치명적인 손상이 될 수도 있다[17].

Table 3의 국내·외 수소 품질규격 비교표를 보면 국내 품질 규격과 'ISO 14687-2 : PEM fuel cell applications for road vehicles(이하 ISO 14687-2)' 및 'ISO 14687-3 : PEM fuel cell applications for stationary appliances(이하 ISO 14687-3)'은 99.90 ~ 99.97%의 성능을 갖도록 규정하고 있으나 'CGA G-5.3 : Commodity specification for hydrogen(이하 CGA G-5.3)'의 품질규격 중 유형 I의 기화수소 최대치를 보면 각 산업용도별로 구분하여 연료전지는 99.999%이상의 품질 성능을 갖도록 하였다. 산소 함유량의 경우도 해외 기준이 국내 기준보다 비교적 엄격한 기준을 제시하고 있는 것으로 분석된다. 또한 수소타운에 설치된 PEMFC 시스템 성능 저하의 주요 요소인 일산화탄소 함유량의 경우, ISO 14687-2와 ISO 14687-3이 0.2ppm으로 가장 엄격한 기준을 제시하고 있으나 국내 규격과 CGA G-5.3은 1 ~ 2ppm으로 완화된 기준을 운영하고 있어 수소품질

실증평가 등을 통해 국내 운영 환경에 적합한 기준 제시가 필요할 것으로 보인다. 그 밖에 포름산, 암모니아 등의 불순물에 대한 검토도 추가되어야 할 것으로 판단된다.

V. 결론

본 논문에서는 울산 수소타운 내 0.1MPa 미만 저압 구간의 주요 시설 및 해당 안전관리 항목 분석을 통해 안전관리의 효율 향상 및 향후 안전관리 기준 개정의 방향성을 제시하고자 하였다.

압력조정설비 부분은 현재 적용되고 있는 시설배치, 재료 및 설비기준 등에 대해 분석하고 이상음, 누출음 등의 수소 공급 중 이상 현상의 인지방법 및 이상 발생 시 안전관리자, 시설관리소 비상 연락처 등 긴급 대응방법 등의 표시 방향을 제시하였다. 또한, 압력조정설비는 고압 및 저압 구간이 공존하며 특히 외부에 설치되어 있어 안전관리가 수시로 이루어져야 할 것으로 판단된다. 매설배관 부분은 배관 재료, 설치, 접합 등에 대해 분석하고 매설배관으로 분류

되어 있는 폴리에틸렌 배관의 삼투성 문제로 인한 수소시설 적용의 추가 검증 필요성을 제시하였다. 그리고 수소 사용시설은 설비기준 등의 안전관리 항목 외에도 가스누출검지기의 적용방안 및 수소 누출시 경보 설정 범위의 추가 검증의 필요성을 제시하고 수소품질에 대한 검토를 통해 일산화탄소, 암모니아 등의 불순물 함유량에 대한 다각도의 검토 필요성을 관련 연구 사례를 통해 제시하였다.

본 연구에 제시된 안전관리 기술 개발 방향은 울산 수소타운 내 수소 사용시설의 안전관리 효율성 증대에 기초 자료로 활용이 가능할 것으로 기대하며 나아가 국내 수소타운 및 수소 이용기기의 보급 활성화에도 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(No.20132010500010)

REFERENCES

- [1] Michael Ball, "The future of hydrogen - opportunities and challenges", *Hydrogen energy*, 34, 615-627, (2009)
- [2] Harikishan R. Ellamla, Iain Staffell, Piotr Bujlo, Bruno G. Pollet, SivaKumar Pasupathi, "Current status of fuel cell based combined heat and power systems for residential sector", *Journal of Power Sources*, 293, 312-328, (2015)
- [3] 안병기, "친환경 수소·연료전지차 개발 동향", *기계저널*, 52(2), 34-38, (2012)
- [4] Jun, D. C., "A Study on Safety Policies for a Transition to a Hydrogen Economy", *Transactions of the Korean hydrogen and new energy society*, 25(2), 161-172, (2014)
- [5] KGS, Facility · Technical · Inspection · Safety Diagnosis Code for Pipes Outside of Producing and Supplying Places of Urban Gas Business, *KGS FS551*, (2015)
- [6] KGS, Facility · Technical · Inspection Code for Governors of General Urban Gas Business, *KGS FS552*, (2015)
- [7] KGS, Facility · Technical · Inspection Code for Urban Gas Using Facilities, *KGS FU551*, (2015)
- [8] 우항수, "울산 수소타운 시범사업 현황", *전기저널*, 452, 35-41, (2014)
- [9] Shi Jianfeng, " Defects classification and failure mode of electrofusion joint for connecting polyethylene pipes", *Journal of applied polymer science*, 124(5), pp 4070~4080, (2012)
- [10] American Institute of Aeronautics and astronautics, Guide to safety of hydrogen and hydrogen systems, *ANSI/AIAA G-095*, (2004)
- [11] Compressed Gas Association, Hydrogen pipeline systems, *CGA-5.6*, (2005)
- [12] American Society Mechanical Engineering, Hydrogen piping and pipeline, *ASME B31.12*, (2014)
- [13] International Code Council, International Fuel Gas Code, (2015)
- [14] Compressed Gas Association, INC., Standard for hydrogen piping systems at user locations, *CGA G-5.4*, (2012)
- [15] KATS, Basic Considerations for The Safety of Hydrogen Systems, *KS B ISO 15916*, (2006)
- [16] Occupational Safety and Health Standards, Permit-required confined spaces, *29 CFR 1910.146*, 2015
- [17] N. Rajalakshmi, "Effect of carbon dioxide and ammonia on polymer electrolyte membrane fuel cell stack performance", *Fuel cells*, 3(4), 177~180, (2004)
- [18] International Organization for Standardization, PEM fuel cell applications for road vehicles, *ISO 14687-2*, (2012)
- [19] International Organization for Standardization, PEM fuel cell applications for stationary appliances, *ISO 14687-3*, (2014)
- [20] Compressed Gas Association, Commodity specification for hydrogen, *CGA-5.3*, (2011)