



수소충전소 실시간 이중 모니터링 시스템 운영을 통한 안전성 향상

이진우 · 박종희 · 김대현 · 탁송수 · †양병조

한국가스안전공사 수소안전기술원

(2021년 12월 10일 접수, 2021년 12월 25일 수정, 2021년 12월 26일 채택)

Status of the Real-time Safety Monitoring System of Hydrogen Refueling Station According to the Operation

Jin-Woo Lee · Jong-Hee Park · Dae-Hyun Kim · Song-Su Tak · †Byung-Jo Yang

Korea Gas Safety Corporation, Chungcheongbuk-do 27738, Korea

(Received December 10, 2021; Revised December 25, 2021; Accepted December 26, 2021)

요약

2021년 2월 ‘고압가스 안전관리법 시행규칙’ 개정에 따라 2021년 8월27일부터 수소자동차 충전소에 설치한 가스누출검지경보장치, 긴급차단장치 및 화염검지기 등 안전장치 작동상태를 실시간으로 한국가스안전공사에서 관리하는 전산시스템으로 전송하여 운영하고 있다. 모니터링 시스템 구축결과와 함께 그동안 발생한 이상신호 통계분석 결과를 공유하여 수소충전소 안전관리에 활용토록 하고, 향후 안전관리 방향을 모색하고자 한다.

Abstract - In accordance with the revision of the Enforcement Regulations of the High-Pressure Gas Safety Management Act in February 2021, from August 27, 2021, the operation status of safety devices such as gas leak detection and alarm devices, emergency shut-off devices and flame detectors installed at hydrogen vehicle charging stations can be monitored in real time. It is transmitted and operated by the computer system managed by Korea Gas Safety Corporations.

We intend to share the results of statistical analysis of abnormal signals that have occurred along with the results of the monitoring system construction so that they can be used for the safety management of hydrogen refueling stations, and to seek future safety management directions.

Key words : hydrogen safety system, hydrogen refueling station, hydrogen monitoring

1. 서론

정부에서 역점으로 추진하고 있는 수소경제 활성화 정책¹⁾에 따라 수소자동차는 최근 급속도로 확대 보급되고 있으며 수소충전소는 국민 생활, 안전과 밀접한 관련이 있는 시설이라고 말할 수 있다.

수소는 가스 중 가장 가벼운 기체(공기보다 14배 가볍음)로서 누출 시 빠르게 확산해 가스 구름이 형성되기 어렵기 때문에 폭발 위험성은 현저히 낮다. 따라서 국민들은 수소폭탄 등 수소에 대한 가지고 있는 막연

한 불안감은 떨쳐내도 될 것으로 보인다. 또한, 석유화학 시설 등 산업현장에서 수십년간 사용하면서 안전관리 노하우가 축적되고 있으며, 전문기관에 따르면 수소의 종합적인 위험도(자연발화 온도, 연료독성, 불꽃온도, 연소속도) 분석결과, 도시가스에 비하여 위험도가 더욱 낮은 것으로 확인되었다.

이러한 수소충전소를 더욱 안전하게 이용할 수 있도록 공사에서는 안전관리를 강화하고 수소충전소 운영 시 발생할 수 있는 위험상황을 조기 발견 및 사고를 예방하기 위해 수소충전소 이중 모니터링 시스템을 도입하여 실시간 모니터링을 실시하고 있다. 본 논문에서는 수소충전소에서 발생한 위험상황을 분석하고 안전한 수소충전소 운영을 위한 방안을 제시하였다.

†Corresponding author:ybjo@kgs.or.kr

Copyright © 2021 by The Korean Institute of Gas

II. 도입 배경

2.1. 수소 특성

수소의 특성은 원자번호 1번인 가장 가벼운 물질로서, 무색, 무미, 무취의 빠른 대기확산성을 가졌으며 우주질량의 약 75 %를 차지하고 있다. 수소는 태양, 풍력 등 재생에너지를 활용해 친환경적으로 생산할 경우 온실가스, 미세먼지가 발생되지 않고 지구온난화의 원인이 되는 CO₂도 발생되지 않는 청정에너지이다.

2.2. 수소충전소 보급 및 안전관리 현황

국내 수소자동차 등록대수는 1.71만대(‘21.9월 기준)로서, 20년말 1만대 대비 70 % 이상 등록이 증가하였다¹¹⁾. 그와 발맞춰 충전 인프라 마련을 위해 충전소 구축을 발빠르게 추진¹²⁾하고 있으며 현재 100여곳의 수소충전소가 구축되어 운영되고 있다. 또한, 구축을 완료한 충전소에 대한 안전관리를 지원하기 위해 수소충전소 상설점검, 고성능 점검장비 무상대여 사업, 수소충전소 실시간 모니터링¹⁴⁾을 통해 수소자동차 충전소 3중 안전관리를 실시하고 있다.

2.3. 수소충전소 모니터링 시스템 구축

2019년 12월에 수립된 수소안전관리 종합대책의 일환으로 수소충전소의 안전장치 작동 등 이상상황 발생 시 신속 대응을 통해 선제적으로 안전을 확보하

고, 이상신호 빅데이터를 축적하여 안전관리에 활용하고자 모니터링 시스템 도입을 추진하게 되었다. 2021년 2월 26일에 개정된 고압가스안전관리법 시행규칙 별표5¹⁶⁾ 제1호나목5 ‘가스누출검지경보장치, 긴급차단장치, 화염검지기 등의 작동상태와 압축기, 압축가스설비 및 충전설비의 온도, 압력, 유량 등에 대한 정보를 실시간으로 한국가스안전공사에서 관리하는 전산시스템으로 전송한다’는 규정^{17),18)}에 따라 시스템 도입 기반을 마련하였다. 이에, 2020년 12월에 예산확보 및 시스템 구축사업자를 선정하고 모니터링 상황실 구축 및 프로그램 설계 및 개발, 프로그램 설치 및 시운전까지 완료하여 2021년 8월 27일부터 운영을 개시하게 되었다. 향후 신규 구축되는 충전소에는 운영 전 모니터링 시스템을 설치하여 전국 모든 수소충전소의 이상상황을 실시간 모니터링 할 계획이다.

III. 수소충전소 실시간 모니터링 시스템 운영 · 분석

3.1. 모니터링 시스템 운영 개요

수소충전소 실시간 모니터링 시스템은 수소충전소에서 발생하는 안전장치 등 작동정보를 가스안전공사 모니터링 상황실에서 실시간 수신하여 안전관리자와 신속히 대응하고, 수소차 운전자에게 운영정보 및 안전정보를 제공하는 시스템이다.

기존에는 수소충전소의 안전장치 작동 등 이상상

Table 1. Abnormal Situation Description of Monitoring System

구분	세부내용
이상상황	‘경고신호’와 ‘위험신호’ 등 수소충전소에서 이상신호가 발생하여 모니터링시스템에 전송된 상황
경고신호	“경고신호”란 압축기, 압축가스설비(압력용기), 충전설비(충전기) 등 주요설비에서 이상신호가 발생되어 설비의 확인·점검이 필요한 경우 (압축기) 설정된 압력 및 온도보다 높거나(H), 낮을 경우 발생된 신호 (압력용기) 설정된 압력보다 높거나(H), 낮을 경우(L)에 발생된 신호 (충전기) 설정된 압력, 온도, 유량보다 높거나(H), 낮을 경우(L)에 발생된 신호
위험신호	“위험신호”란 가스누출검지경보장치(가스검지기), 화염검지기(불꽃검지기), 긴급차단장치 등 안전장치와 압축기, 압축가스설비(압력용기), 충전설비(충전기) 등 주요설비에서 이상신호가 발생되어 충전소 운영이 중단(Shut down)되는 신호 (가스검지기) 주요설비 및 배관에서 수소가 누출되어 기계실* 및 충전기에 위치한 가스검지기에서 발생된 신호 * 기계실 : 압축기 또는 압축가스설비가 설치된 장소를 말함 (불꽃검지기) 주요설비 및 배관 부근에서 발생한 화염을 감지하여 발생된 신호 (긴급차단장치) 사무실, 기계실 및 충전기에 설치된 긴급차단장치 버튼이 작동되어 발생된 신호 (압축기) 설정된 압력 및 온도보다 매우 높거나(HH), 매우 낮을 경우(LL)에 발생된 신호 (압력용기) 설정된 압력보다 매우 높거나(HH), 매우 낮을 경우(LL)에 발생된 신호 (충전기) 설정된 압력, 온도, 유량보다 매우 높거나(HH), 매우 낮을 경우(LL)에 발생된 신호

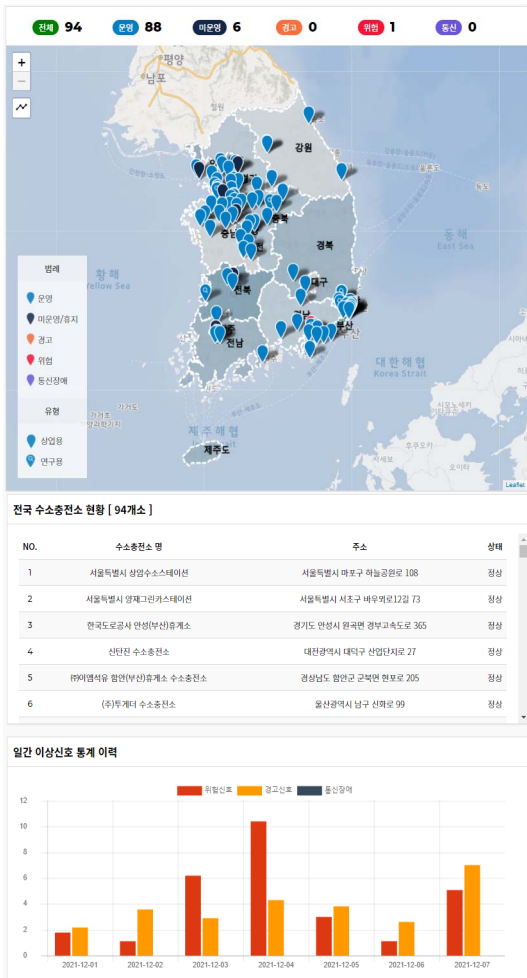


Fig. 1. Screen of Real-time Monitoring System.

황 발생 시 사업자가 신고하기 전에는 해당 내용을 알 수 없어, 예방조치 등 신속 대응이 곤란하였다. 이에, 충전소의 안전장치 작동상태 및 주요설비의 온도, 압력, 유량 등에 대한 정보를 가스안전공사와 충전소 안전관리자가 실시간으로 확인할 수 있도록 이중 모니터링 시스템을 구축하고, 또한 이상신호 발생 내용은 충전소 관리자 및 가스안전공사 담당자에게 실시간 문자로 전송하여 즉각적인 확인과 대응이 가능토록 하였다. 이상상황에 대한 정의는 Table 1에 나타나 있다. 수소충전소 실시간 모니터링 화면(상황판)은 Fig.1 과 같으며, 모니터링 시스템 구성 및 체계도는 Fig.2과 같다.

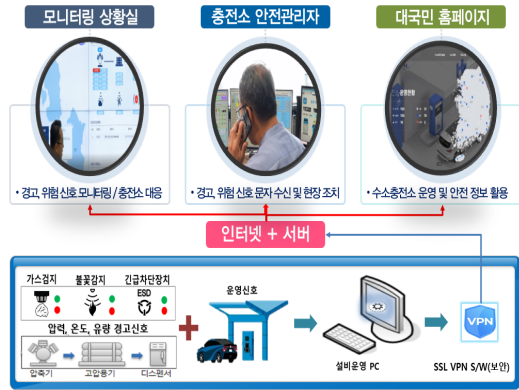


Fig. 2. Composition of Monitoring System.

Table 2. Classification of Abnormal signal

구분	발생장소		횟수
경고 신호	주요 설비	압축기	-
		압축가스설비	-
		충전설비	-
			-
위험 신호	안전 장치	가스누출검지 경보장치	20
		화염검지기	2
		긴급차단장치	-
	주요 설비	압축기	7
		압축가스설비	-
		충전기	2

3.2. 수소충전소 이상신호 모니터링 현황

수소충전소 모니터링 시스템의 이상신호는 위에서 말한 바와 같이 경고신호, 위험신호, 운영신호 총 3가지로 구분된다. 추가적으로 충전소 운영에 대한 신호는 수소충전소의 가동 및 충전횟수를 전송하는 것으로서 공사에서 운영중인 모니터링 운영현황 홈페이지를 통해 수소차 운전자가 정보를 활용할 수 있다. 세부적인 이상신호 구분은 Table.2에서 확인할 수 있다. 아울러 수소충전소에서 발생하는 신호는 한국가스안전공사에 위치한 종합상황실로 전송되며, 모든 충전

소를 실시간 모니터링하고 있다.

수소충전소 실시간 이중 모니터링 시스템은 21.8.27일부터 운영을 시작하여 2021년 11월 11일까지 Table 2에서 보는 바와 같이 총 31건의 이상신호가 발생하였다. 발생한 이상신호는 모두가 위험신호였으며, 이중 대다수인 20개의 신호가 가스누출검지경보장치에서 발생한 것을 확인할 수 있다. 발생한 신호는 공사 상황 및 운영사를 통한 실시간 대응과 시공사의 신속한 조치를 통해 모두 개선조치가 완료되었다.

3.3. 수소충전소 모니터링 이상신호 통계 분석

2021년 11월 11일까지 약 3개월간 모니터링 시스템을 통해 확인된 총 31건의 이상신호 데이터를 분석하였다. 신호발생 통계는 Table 3과 같다.

경고신호는 발생하지 않았고 위험신호 31건이 발생되었다. 그 중 안전장치에서 22건, 주요설비에서 9건을 확인할 수 있었으며, 위험신호 중 안전장치(가스누출검지경보장치, 화염검지기, 긴급차단장치)에서 발생한 이상신호가 22건, 주요설비(압축기, 압축가스설비, 충전기)에서 발생한 이상신호는 9건을 확인할 수 있었다. 세부적인 위험신호 발생 통계는 Table 4~5

Table 3. Statistics of Abnormal signal

합계	경고신호 (주요설비)	위험신호		
		소계	안전장치	주요설비
31	-	31	22	9

Table 4. Statistics of Danger Signal(Safety Device)

신호구분	발생위치	합계
합계		22
가스누출 검지경보장치	튜브트레일러	1
	압축기	1
	압축가스설비	1
	충전기	17
화염검지기	사업장 밖	2
	사업장 내	-
긴급차단장치	사무실	-
	기계실	-
	충전기	-

와 같다.

위험신호 중 안전장치에서 22건의 신호가 발생하였다. 이 중 가스누출검지경보장치에서 20건의 신호가 발생하였고, 충전기 내부에서 17건이 발생하여 대부분을 차지하였다. 현장확인 결과 충전기의 구성품인 자동밸브, 배관 등 이음매에서의 수소누출이 주로 발생하는 것을 확인하였으며, 충전기 내부에 위치한 가스감지기는 충전기 내부 부피가 작고 타 설비(압축기, 압력용기 등)에 비해 자동밸브, 배관 등과 가깝게 설치되어 있어 소량의 수소누출 시에도 빠르게 감지하는 것으로 분석되었다.

화염검지기 신호는 동일한 수소충전소 사업소 밖에서 2건이 발생하였고, 현장점검 결과 충전소 사업소 경계에서 약 25m가량 떨어진 외부에서 용접작업 시 발생한 용접불꽃을 화염검지기가 감지한 것을 확인하였다.

위험신호 중 주요설비(압축기, 압축가스설비, 충전기 등)에서 9건의 신호가 발생하였다. 주요 설비의 위험신호 발생 통계는 Table 5와 같다. 압축기에서 대부분인 7건이 발생되었고, 수소자동차 충전 중 일시적인 압력·온도 상승으로 인해 발생한 것으로 확인되었다. 또한 충전기에서 발생한 2건의 위험신호는 수소차량의 충전 시 일시적인 통신장애에 의해 발생하였다.

3.3.1. 시간대별 이상신호 발생통계

아래 그래프를 통해 수소충전소에 설치되어 있는 안전장치와 주요설비의 시간대별 신호발생 그래프를 확인할 수 있다.

Fig. 3. 시간대별 위험신호(안전장치) 이상신호 발생 그래프를 확인해보면, 대부분 충전소 운영 중에 가스누출검지경보장치 신호가 발생된 것을 확인할 수 있으며, 특히 차량충전이 많은 8시~10시, 15시~19시에 신호발생이 빈번함을 확인할 수 있다. 또한 화염감

Table 5. Statistics of Danger Signal(Main Facilities)

신호구분	인자	횟수
합계		9
압축기	압력	4
	온도	3
압축가스설비	압력	-
	온도	-
충전기	압력	2
	유량	-



Fig. 3. Graph of Danger Signal(Safety Device) by time.

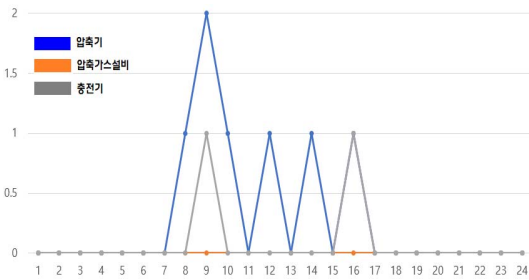


Fig. 4. Graph of Danger Signal(Main Facilities) by time.

지기는 위에서 설명한 바와 같이 동일 충전소 사업소 경계 밖에서 작업 중에 발생한 사항이며, 긴급차단장치는 별도 발생이 없었다.

Fig. 4. 시간대별 위험신호(주요설비)의 이상신호 발생 그래프를 확인해보면, 주요설비 중 압축기, 충전기 순서로 이상신호가 발생하였으며, 압축가스설비에서는 별도 이상신호 발생내역이 존재하지 않았다. 발생사유는 차량 충전 시 압축기가 가동되며 온도와 압력상승이 빈번하게 발생되고, 충전되는 과정 중에 충전기에서도 압력 변화가 생겨 이상신호가 발생된 것으로 분석하였다.

3.3.2. 월별 이상신호 발생통계

아래 그래프를 통해 수소충전소에 설치되어 있는 안전장치와 주요설비의 월별 신호발생 빈도수를 확인할 수 있다.

Fig. 5 월별 위험신호(안전장치) 이상신호 발생 그래프를 확인해보면, 눈에 띄어 만큼 큰 폭의 증가세가 있는 것은 아니지만 꾸준히 증가하고 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 최근 정부에서 중점적으로 추진하고 있는 수소충전소 확대보급 정책과 무관하지 않다고 보

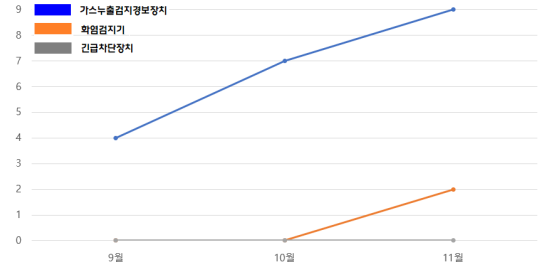


Fig. 5. Graph of Monthly Danger Signal(Safety Device).

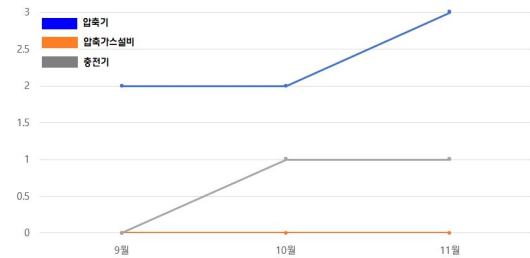


Fig. 6. Graph of Monthly Danger Signal(Main Facilities).

며 앞으로 수소충전소 수가 증가될수록 이상신호 발생 빈도도 증가할 가능성이 있다고 보인다.

Fig. 6. 월별 위험신호(주요설비) 이상신호 발생 그래프를 확인해보면, 상대적으로 Fig 5. 위험신호(안전장치)에 비해 발생 횟수가 적지만 시간이 지남에 따라 발생횟수가 증가하고 있는 것을 확인할 수 있다. 압축기, 충전기 순으로 발생하였고, 압축가스설비에서는 발생하지 않았다.

3.4 수소충전소 기타신호 발생 통계

수소충전소에서 발생한 이상신호 외에 실제 안전장치나 주요설비의 문제가 없었던 기타신호는 681건이 발생되었다. Fig. 7. 수소충전소 기타신호 발생 통계를 보면 프로그램 설치·테스트, 오작동, 영업 종료시 부적절한 긴급차단장치 사용 등이 대부분이다. 향후, 충전소 관계자 대상 모니터링 매뉴얼 및 긴급차단장치 작동 교육진행 등을 통해 오작동 및 부적절한 긴급차단장치 사용 등의 신호는 점차 줄어나갈 것이며, 신규 구축되는 수소충전소에 대한 프로그램 테스트 신호는 별도 관리하여 통계요류를 방지할 예정이다. 특히 오작동에 의한 알람이 발생하는 경우, 시공사, 시스템구축업체와 협의를 통해 발생 원인을 제거하고 개선해나갈 예정이다.

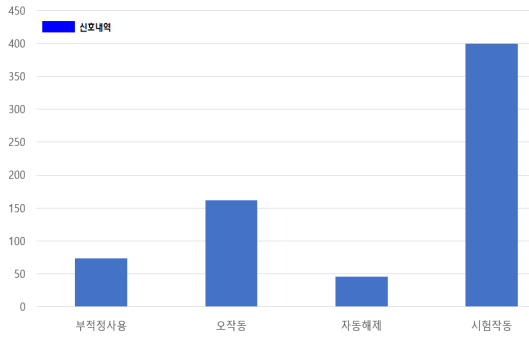


Fig. 7. Graph of Other Signal.

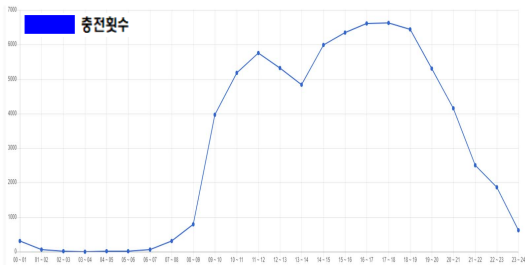


Fig. 8. Graph of Charging Signal.

3.5. 시간대별 충전횟수 통계

마지막으로는 전국에 위치하고 있는 수소충전소의 충전신호 현황이다. 전국 수소충전소의 영업시간은 보통 오전08시 영업 시작, 20시 영업 종료이다. Fig. 8.에서 확인할 수 있듯이 차량운행이 많은 시간대인 11:00~12:00사이, 14:00~19:00 사이에 수소자동차를 가장 많이 충전하고 있음을 확인할 수 있다.

아울러, 수소충전소에서 발생하는 상세 이상신호 내역, 신호발생 통계, 수소차량 충전횟수 등은 공사와 충전소 관계자가 모니터링 시스템 관리자 메뉴를 통해 확인할 수 있도록 하였다.

IV. 결론

본 논문에서는 수소충전소 모니터링 시스템 운영에 따른 이상발생내역 및 항목별 통계현황을 분석하고 그에 따른 조치내역을 확인해보았다. 모니터링 시스템 운영 이전에는 충전소 안전관리책임자 자체점검 및 공사 상설점검, 시공사 수시점검을 통해 이상상황을 발견하고 조치하였다. 그러나, 상시적으로 이상상태를 확인 할 수가 없어 점검 이외의 시간에 이상상황이 발생 할 경우 자칫 가스사고로 이어질 수 있는 우

려가 존재하였다. 하지만 올해 도입된 수소충전소 실시간 이중 모니터링 시스템을 통해 공사 종합상황실에서 365일 24시간 실시간 이상상황을 감시하고 이상신호가 발생하면 1차 즉시 문자알림, 2차 안전관리자 유선연락, 3차 현장대응 등의 대응절차^[6]에 따라 공사·충전소 관계자가 함께 조치할 수 있는 대응기반이 마련되었다. 특히, 모니터링을 통해 확인한 설비 이상에 대해서는 유사사례 전수조사 등 특별점검을 통해 그 원인을 파악하고 예방조치하는 등 선제적인 안전관리를 병행하고 있다. 특검체조사의 압축기 반복 누출사례('21년 9월), 충전소 경계 밖 불꽃감지('21년 10월), 충전기 내부 가스누출 사례('21년 11월) 등이 대표적인 사례라고 할 수 있다. 정부의 수소충전소 구축계획에 따라 향후 운영되는 충전소가 확대되면 보다 많은 데이터가 축적되어 체계적이고 과학적인 안전관리가 가능해질 것으로 판단된다. 축적된 통계데이터를 토대로 계절별, 시간대별 혹은 시공사별로 구분하여 자주 발생하는 신호의 원인을 파악하고, 운영기관 및 시공사와의 간담회를 통해 안전관리 예방활동을 추진할 예정이다. 수소충전소 실시간 이중 모니터링과 더불어 수소충전소 자율안전관리를 위해 무상으로 제공하는 고성능 점검장비 임대사업(수소누출검지기, 접지저항측정기, 열화상측정기, 표준가스분사장장치), 주1회 이상의 상설 안전점검제도 등 3중 안전관리 체계를 통해 수소충전소의 안전성은 더욱 높아지고 나아가 정부의 수소경제 활성화 정책에도 크게 기여할 것으로 기대된다. 물론, 모니터링 시스템에 앞서 수소충전소 자체 체계적인 안전관리 및 시공사의 규정에 입각한 시공과 가스안전공사의 철저한 검사 및 점검 등이 병행되어야 그 효과는 배가 될 것이다.

REFERENCES

- [1] 산업통상자원부, 수소경제 활성화 로드맵, (2019)
- [2] 산업통상자원부, 수소인프라 및 충전소 구축방안, (2019)
- [3] 한국가스안전공사, 수소안전정책자료, (2020)
- [4] 한국가스안전공사, 수소충전소 모니터링 구축 계획보고, (2020)
- [5] 한국가스안전공사, 수소충전소 실시간 모니터링 대응체계, (2021)
- [6] 법제처, 고압가스안전관리법, (2021)
- [7] 한국가스안전공사, 제조식 수소자동차 충전의 시설·기술·검사 기준, (2021)
- [8] 한국가스안전공사, 저장식 수소자동차 충전의 시설·기술·검사 기준, (2021)