[Research Paper]

수소충전소 소방시설 설치기준 분석

박병직 · 김양균* · 임옥근**†

한국건설기술연구원 화재안전연구소 전임연구원, *한국건설기술연구원 화재안전연구소 수석연구원,

**동아대학교 경찰·소방학과 교수

Design Code Analysis of Fire Protection Facilities in Hydrogen Refueling Stations

Byoungjik Park · Yangkyun Kim* · Ohk Kun Lim**†

Research Specialist, Fire Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology,

*Senior Researcher, Fire Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology,

**Assistant professor, Dept. of Police and Fire Administration, Dong-A Univ.

(Received September 14, 2021; Revised September 24, 2021; Accepted September 27, 2021)

요 약

수소경제 실현을 위해서는 관련 인프라를 구축하는 것이 중요하며, 정부에서는 2022년까지 수소충전소 310기를 구축한다는 계획을 제시한 바 있다. 국내 대부분의 수소충전소는 수소탱크용량으로 인해 소방법상 특정소방대상물에 해당되지 않는다. 본 연구에서는 델파이기법을 사용하여 수소충전소의 안전성을 향상시키기 위해 필요한 소방시설과 도출된 소방시설들을 설치하기 위한 법령개정 방안에 대해 조사했다. 소방시설로는 자동화재탐지설비, 스프링클러설비 등 6가지가 도출되었으며, 수소충전소가 특정소방대상물에 포함되도록 수소가스 저장용량을 변경하도록 소방시설법을 개정하는 것이 가장 적합하여 고압가스 관련법령에서도 소방시설법에 따라 설치할 수 있도록 서로 연계하는 것도 필요한 것으로 조사되었다. 이런 분석결과는 안전한 수소인프라 구축을 위한 법령개정에 활용될 수 있을 것이다.

ABSTRACT

The Korean government has announced the construction of more than 310 hydrogen refueling stations by 2022 to establish a hydrogen infrastructure, which is crucial for realizing hydrogen economy. According to the fire act in Korea, most hydrogen refueling stations are not included in the specific structure for fire protection. Therefore, in this study, the fire protection facilities in hydrogen refueling stations and the amendment methods for those facilities were investigated using the Delphi method. A total of six fire protection facilities, including an automatic fire alarm system and sprinkler, were drawn. It is the conclusion of the paper, however the current fire act does not classified the hydrogen refueling station as the specific structure for fire protection. I think the following is better: Furthermore, hydrogen refueling stations needed to be included in the specific structure for fire protection by modifying the hydrogen storage tank volume. High-pressure gas act and relevant technical codes were further required to connect with fire regulations. Quantitative analysis of fire protection facilities and design codes for hydrogen refueling stations could provide information for the hydrogen infrastructure development.

Keywords : Hydrogen refueling station, Fire protection facility, Delphi, Fire safety code, Consensus

1. 서 론

세계적인 기후변화로 인한 위기가 심각해지면서 유럽연합은 탄소국경조정세를 2023년부터 도입할 예정이며, 국내에서도 ‘기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본

법안’이 국회 본회의를 통과하는 등 온실가스와 미세먼지에 적극적으로 대응하고 있다. 현대자동차는 ‘IAA 모빌리티 2021’에서 2045년까지 탄소중립을 이루겠다고 선언하며 2035년까지 유럽시장에서 판매하는 전 모델을 배터리 전기차와 수소 전기차로만 구성하겠다는 전략을 발표했고⁽¹⁾, 산

† Corresponding Author, TEL: +82-51-200-8673, E-Mail: oklim@dau.ac.kr

© 2021 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

업통산자원부는 최근 자동차산업 탄소중립협의회를 개최하고 2050년까지 탄소중립을 달성하기 위해 기업들의 참여를 독려하고 있다⁽²⁾.

탄소중립을 실현하기 위한 노력으로 정부에서는 수소를 주요한 에너지원으로 이용하기 위해 ‘수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률’에 근거하여 수소전문기업을 지원하고 수소인프라 구축을 위해 노력하고 있다. 수소융합얼라이언스에 따르면 2021년 9월 현재 전국에 72기의 수소충전소가 구축되어 있으며 그 중 70기가 정상적으로 운영되고 있다⁽³⁾. 국토교통부, 산업자원부, 환경부 등 관계부처에서 발표한 ‘수소인프라 및 충전소 구축 방안’에 따르면 전국에 수소충전소를 2022년까지 310기를, 2040년까지 1,200기를 구축하고 ‘수소유통센터’를 설치하여 적정 수준의 수소 가격을 유지할 수 있도록 관리하는 등 친환경에너지 사용을 촉진하기 위한 노력이 꾸준히 이루어지고 있다⁽⁴⁾.

수소경제 실현을 위해서는 수소가스를 충전할 수 있는 인프라를 안전하게 구축하는 것이 필요하다. 2019년 노르웨이 오슬로 인근 샌드비카에서 수소충전소 폭발사고가 발생하여, 동일한 회사에서 구축한 수소충전소 10기의 운영을 중단하는 일이 있었다. 수소탱크와 연결된 플러그의 체결이 제대로 이루어지지 않아 발생한 것으로 인근 차량의 에어백이 터지면서 2명이 경상을 입었으며, 이로 인해 제조사는 약 미화 300만 달러의 벌금을 선고받았다⁽⁵⁾.

본질적으로 수소충전소에서 사고가 발생하지 않도록 설계하고 관리해야 하겠지만 여러 실수들이 우연히 겹치면서 사고가 발생하게 되는 경우에는 이를 효과적으로 대응하여 사고규모를 최소한으로 한정시키는 것이 필요하다. 국내 수소충전소의 화재 및 안전시설 관련 기준들은 한국산업안전보건공단의 안전보건기술지침 중 ‘수소충전소의 안전에 관한 기술지침’⁽⁶⁾, 고압가스안전관리법⁽⁷⁾, 한국가스안전공사 가스기술기준 중 ‘저장식 수소자동차 충전의 시설·기술·검사 기준’⁽⁸⁾ 등이 있다. 상기 기준들에서는 보호시설이나 다른 설비 혹은 도로경계와의 거리 등 안전거리에 대한 것과 배관설비기준, 긴급차단장치, 역류방지장치, 환기설비 등의 사고예방설비에 대한 것과 방호벽, 소화설비, 벤트시스템 등 피해저감설비에 대한 것들이 다양하게 제시되어 있다. 하지만 소화설비에 대한 것은 대형소화기를 비치하는 것만 제시하고 있어 수소충전소에서 화재사고 발생 시 효과적인 대응을 위해 필요한 설비들에 대한 설치기준 제시가 필요하다.

본 논문에서는 수소충전소에 필요한 소방시설과 이를 설치하기 위한 법령제정 방향에 대해 여러 전문가의 의견을 수렴하기 위해 델파이 기법을 사용하여 분석하고자 한다. 또한 도출된 지표들을 바탕으로 현재 명확히 제시되고 있지 않은 수소충전소에 설치해야 할 소방시설과 법령개정 방안을 제안하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 연구설계

델파이 기법은 미국의 랜드 연구소에서 전문가 집단의 의견을 조정, 통합하거나 개선시키는데 사용하기 위해 개발된 방법으로 고대 그리스에서 신탁을 받는 아폴로 신전이 위치한 지역의 이름인 델포이의 명칭을 따라 지어졌다⁽⁹⁾. 소수의 의견이 다수의 의견이나 권위 있는 일부에 의해 방해받지 않으면서 개개인의 의견들이 하나로 수렴되는 경우 다수의 합리적인 의견이 만들어진다는 논리적 근거를 바탕으로 하고 있다. 델파이 기법은 화재안전분야에서도 기존에 없던 새롭게 생긴 다중이용업소의 화재위험평가지표를 객관적으로 도출하거나⁽¹⁰⁾, 공동주택 리모델링 기술타당성평가지표를 도출하거나⁽¹¹⁾, 사용자의 특성, 사용형태, 화재의 취약성 등을 고려하여 특정소방대상물을 재분류 하는데 사용된 바가 있다⁽¹²⁾.

연구의 신뢰성을 높이기 위해 전문가 패널은 소방분야의 교수 3명, 연구원 4명, 산업계 전문가 3명, 소방공무원 4명으로 총 14명으로 구성했다. 이 중 소방공무원 1명을 제외하고는 최소 업무경력 10년 이상이며, 익명성을 확보하기 위해 전문가패널간의 소통은 없었으며 설문진행자와 일대일로 소통하며 자료를 수집하였다.

총 3회에 거쳐 전문가패널의 의견을 조사했다. 먼저 개방형 설문을 활용하여 수소충전소 사고 시 효과적으로 대응하기 위해 필요한 소방시설을 약 다섯 가지 제시하고, 언급된 소방시설들을 설치하기 위해서는 어떤 법령에 어떤 형태로 명시되는 것이 타당한지에 대해 세 가지 정도 제안하도록 조사하였다. 이렇게 조사된 내용들을 정리했을 때 수소충전소에 설치할 필요가 있는 소방시설은 14가지가 도출되었고, 이를 설치하는 방법으로는 5가지가 도출되었다. 이를 바탕으로 Likert 5점 척도를 사용하여 2차 설문지를 구성하였다. 2차 델파이 조사에서 도출된 각 항목별 조사된 평균과 표준편차를 설문항목에 추가하여 3차 설문지를 구성하여 최종적으로 전문가패널의 의견을 조사하였다.

2.2 연구절차 및 방법

개방형 설문으로 진행된 1차 델파이 조사에서는 Table 1에서와 같이 수소충전소 사고 시 효과적인 대응을 위해 필요한 설비 14가지를 도출하였고 이를 설치하기 위한 방법으로 5가지가 제시되었다. 소방시설에서 1번 항목인 자동 화재탐지설비의 경우 감지기, 불꽃감지기, CCTV 등과 연계하여 화재발생 시 이를 자동 또는 수동으로 관계자에게 알리고 경보하는 것으로 수소화염의 경우 낮에는 시각적으로 확연히 구분하기 어렵기 때문에 이를 효과적으로 파악하기 위한 설비의 필요성이 있는 것으로 파악된다. 2번 스프링클러설비의 경우에는 가스누출부위가 냉각되지 않도록 살수범위를 조정하여 설계하는 것이 필요하다는 의견이 있었다. 8번 옥외소화전은 수소충전소에서 충전하거나 주

Table 1. The First Delphi Survey Data Regarding Fire Protection Facilities and Fire Design Codes

Category	No.	Contents
I. Fire protection facility	1	Automatic fire alarm system
	2	Sprinkler
	3	Water discharging system
	4	Large fire extinguisher
	5	Fire extinguisher
	6	Hydrogen gas leak detection system
	7	Carbon dioxide system
	8	Outdoor fire hydrant
	9	Public water supply system
	10	Smoke control system
	11	Exit sign
	12	Automatic dry chemical system
	13	Drencher system
	14	Foam system
II. Fire design code	1	The specific structure for fire protection shall be modified to create the hydrogen refueling station section
	2	The level of gas storage tank in fire act shall be adjusted
	3	Fire protection facilities shall be specified in gas technical standard
	4	Fire protection facilities shall be specified in high pressure gas act
	5	Fire act and high press gas act shall be connected

변에 주차된 차량에서 화재가 발생하여 수소충전소로 화재가 전파되는 것을 방지하기 위한 용도로 제안되었다. 10번 제연설비는 수소가스가 누출되는 경우 이를 자동으로 외부로 배출시키는 용도로 방폭형 설비를 적용하는 것이 타당하다는 의견이 제시되었다.

수소충전소의 경우 화재예방, 소방시설 설치 유지 및 안전관리에 관한 법률에서 제시하고 있는 특정소방대상물에서 ‘위험물 저장 및 처리 시설’ 중 ‘가스시설’에 해당될 수 있으나 이 경우 “산소 또는 가연성 가스를 제조·저장 또는 취급하는 시설 중 지상에 노출된 산소 또는 가연성 가스 탱크의 저장용량의 합계가 100 t 이상이거나 저장용량이 30 t 이상인 탱크가 있는 가스시설로서 다음의 어느 하나에 해당하는 것”으로 명시되어 있어 국내 수소충전소의 대부분을 차지하는 튜브트레일러 방식의 저장식 수소충전소는 저장탱크용량이 약 300 kg 내외로 특정소방대상물에 해당되지 않는다. Table 1의 화재설계기준관련하여 1번 항목은 수소충전소가 특정소방대상물에 포함되도록 별도의 항목을 신설하는 의견이며 2번은 기존에 있는 ‘위험물 저장 및 처리 시설’ 중 ‘가스시설’의 범위를 현재 국내에서 건축되고 있는 수소충전소의 저장탱크 용량을 포함하도록 가스저장탱크 용량의 범위를 변경시키는 것을 제안하고 있다. 3번과 4번 항목에서는 현재 소화설비로 대형소화기를 설치하도록 명시되어 있는 한국가스안전공사 가스기술기준이나 고압가스안전관리법의 피해저감시설에 설문에서

도출된 소방시설을 구체적으로 명시하는 것이 합리적이라는 의견이다. 고압가스관련법이나 소방관련법 중 어디든 하나의 기술기준에 수소충전소에 설치할 필요가 있는 소방시설을 명시하고 이를 서로 연결하여 사용하도록 하는 의견도 제시되었다.

2차와 3차 델파이 조사에서는 Likert 5점 척도로 평가된 결과를 바탕으로 평균과 표준편차(SD)를 분석했다. 조사에 참여한 전문가의 인원수에 따른 합의도의 품질을 확인하기 위해 내용타당성비(content validity ratio, CVR)를 사용하였다. 전문가패널이 중요하다고 판단한 것이 많아질수록 합의에 가까워진다는 것을 표현하는 지표로 절반 이상의 전문가가 중요하다고 판단한 경우에는 양의 값을 가지게 되고 절반만 중요하다고 판단한 경우에는 0을, 절반 이상이 중요하지 않다고 응답한 경우에는 음의 값을 가지게 된다. 조사에 참여한 전문가가 14명인 경우 CVR은 최소 0.51 이상의 값을 가질 때 타당성이 인정되며, 1의 값을 가지면 모든 전문가가 필요하다고 의견이 일치된 경우이다⁽¹³⁾. -1에서 +1의 범위를 가지는 CVR은 다음과 같이 계산된다.

$$CVR = \frac{n_e - N/2}{N/2} \quad (1)$$

여기서 n_e 는 중요하다고 응답한 패널의 수(4점 이상), N 은 전체 패널의 수를 의미한다.

Table 2. The Second Delphi Survey Data Regarding Fire Protection Facilities

Category	No.	Mean	SD	CVR (> 0.51)	Necessity	CV (< 0.5)	Consensus
I. Fire protection facility	1	4.79	0.41	1.00	Essential	0.086	Agree
	2	4.21	0.77	0.57	Essential	0.183	Agree
	3	3.86	0.91	0.29	Inessential	0.237	Agree
	4	4.36	0.89	0.71	Essential	0.205	Agree
	5	4.14	0.91	0.57	Essential	0.221	Agree
	6	4.79	0.41	1.00	Essential	0.086	Agree
	7	3.29	1.33	0.00	Inessential	0.406	Agree
	8	4.07	0.59	0.71	Essential	0.146	Agree
	9	3.71	0.80	0.29	Inessential	0.214	Agree
	10	3.79	0.94	0.43	Inessential	0.248	Agree
	11	3.79	0.86	0.29	Inessential	0.227	Agree
	12	3.29	0.88	-0.14	Inessential	0.268	Agree
	13	3.07	1.10	-0.14	Inessential	0.358	Agree
	14	3.21	0.94	-0.43	Inessential	0.292	Agree

합의도를 평가하기 위해 변이계수(coefficient of variation, CV)를 사용하였다. CV는 패널들의 응답결과의 표준편차가 작을수록 합의에 이른다는 것을 바탕으로 한 것으로 0.5 이하일 때 합의가 이루어진 것으로 판단하며, 0.8 이상인 경우 합의가 이루어지지 않아 추가적인 설문을 해야 하는 것으로 제시되어 있다⁽¹⁴⁾. CV는 다음과 같이 계산된다.

$$CV = \frac{SD}{Mean} \quad (2)$$

여기서 SD는 표준편차, Mean은 산술평균을 의미한다.

3차 델파이 조사에서는 2차 조사에서 도출된 각 항목별 평균과 표준편차 값을 판단의 참고자료로 활용할 수 있도록 제시하였다. 델파이 조사에서는 전문가들의 의견의 합의도와 함께 안정성을 평가하는 것도 필요하다. 안정성은 각 전문가들의 일관된 의견제시를 평가하는 지표로 회차별 평가결과가 약 15% 이내로 변동이 발생하는 경우 조사결과가 안정적인 것으로 판단할 수 있다⁽¹⁴⁾.

3. 분석 및 고찰

3.1 수소충전소 필요 소방시설

1차 델파이 조사를 통해 수소충전소에 설치되어야 하는 소방시설 14개가 도출되었고, 이를 토대로 매우 필요하지 않다(1점), 필요하지 않다(2점), 보통이다(3점), 필요하다(4점), 그리고 매우 필요하다(5점)까지 각 항목에 대한 필요성을 조사하였다. Table 2에서와 같이 평균점수가 3점(보통) 이상으로 1차 조사에서 제시되었던 다양한 소방시설들 중 필요하지 않은 것은 없는 것으로 조사되었다. 그 중 6개

항목(1.자동화재탐지설비, 2.스프링클러설비, 4.소화기구(대형 소화기), 5.소화기구(소형 소화기), 6.수소가스검지기, 8.옥외소화전)의 경우 CVR값이 0.51 이상으로 필요성이 큰 것으로 나타났다. 모든 항목에서 CV값이 0.5 이하로 2차 델파이조사에서 응답결과의 표준편차가 작아 설문에 응한 전문가들의 의견들이 일치함을 확인할 수 있었다.

3차 델파이 조사에서는 각 항목별 2차 조사의 결과를 함께 제시하여 설문에 응한 전문가들이 의견을 제시할 때 참고할 수 있도록 설문지를 구성하였다. Table 3에서 보는바와 같이 2차 조사에서와 동일하게 모든 항목에서 응답결과의 편차가 크지 않아 CV값이 0.5 이하로 전문가들의 합의는 동일하게 이루어졌다. CVR값이 0.51 이상으로 조사된 소화설비도 2차 조사에서와 동일하게 6개 항목이었다. 2차 조사와 3차 조사결과와 평균값을 사용하여 설문 응답의 안정성을 평가했을 때 수소충전소에 필요하다고 판단된 6개 항목의 경우 변동성이 3% 이하로 전문가패널에서 일관적으로 필요한 소방시설이라고 생각하고 있음을 알 수 있다. 가장 안정성이 떨어지는 항목은 14번 포소화설비로 매우 필요하다부터 매우 필요하지 않다까지 다양한 의견이 제시되었다. 안정성의 경우 15%를 초과하지 않아 전문가패널의 응답결과는 2차 조사결과를 참고하더라도 대체로 일관된 의견을 유지하고 있었다.

델파이 조사를 통해 도출된 수소충전소에 설치가 필요한 소방시설은 자동화재탐지설비, 스프링클러설비, 대형소화기, 소형소화기, 가스누설경보기, 옥외소화전이였다. 이중 대형 및 소형소화기의 경우 현재 비치되어 있으며, 가스누설경보기의 경우 고압가스안전관리법과 가스기술기준에 따라 사고예방설비 중 검지경보장치 설치규정에 따라 압축설비 주변 또는 충전설비 내부, 압축가스설비 주변, 개별

Table 3. The Third Delphi Survey Data Regarding Fire Protection Facilities

Category	No.	Mean	SD	CVR (> 0.51)	Necessity	CV(< 0.5)	Consensus	Stability
I. Fire protection facility	1	4.86	0.35	1.00	Essential	0.072	Agree	1%
	2	4.21	0.67	0.71	Essential	0.160	Agree	0%
	3	3.57	0.73	0.14	Inessential	0.204	Agree	6%
	4	4.43	0.82	0.86	Essential	0.185	Agree	1%
	5	4.29	0.70	0.71	Essential	0.163	Agree	3%
	6	4.93	0.26	1.00	Essential	0.052	Agree	3%
	7	2.93	0.70	-0.57	Inessential	0.240	Agree	7%
	8	4.21	0.56	0.86	Essential	0.132	Agree	3%
	9	3.57	0.82	0.00	Inessential	0.230	Agree	3%
	10	3.57	1.05	0.14	Inessential	0.294	Agree	4%
	11	3.71	0.80	0.29	Inessential	0.214	Agree	1%
	12	3.07	0.88	-0.29	Inessential	0.288	Agree	4%
	13	2.79	1.08	-0.29	Inessential	0.388	Agree	6%
	14	2.79	0.94	-0.86	Inessential	0.337	Agree	9%

충전설비 본체 내부, 밀폐형 피트내부에 설치된 배관접속부 주위, 펌프 주변, 반응설비 주변, 저장탱크 설치장소 및 계기실에 설치되어 있다. 자동화재탐지설비는 이미 설치되어 있는 가스누설경보기나 불꽃감지기와 연동할 뿐만 아니라 CCTV, 열·연기 감지기 등과도 연계하여 화재나 이상 상황 발생 시 관계자에게 자동 또는 수동으로 알리고 경보할 수 있도록 설치하는 경우 매우 유용한 것으로 조사되었다. 소방시설법에서는 근린생활시설, 의료시설 등 최소 연면적 600 m² 이상이거나 지정수량 500배 이상의 특수가연물을 저장·취급하는 곳에 설치하도록 명시되어 있어 대부분의 수소충전소 면적이 600 m² 미만으로 크지 않은 것을 고려할 때 의무적으로 설치해야 하는 시설은 아니다. 스프링클러설비나 미분무소화설비는 수소충전소에서 화재 발생 시 화재확산을 방지하고 저장탱크의 과열을 방지하기 위해 필요한 것으로 조사되었다. 고압가스안전관리법의 피해저감설비 중에는 온도상승방지설비가 있어 스프링클러설비나 미분무소화설비를 이런 용도로 적용할 수도 있을 것이다. 수소충전소에서는 충전소 내부에서 발생한 화재가 충전하기 위해 대기중인 인근의 차량으로 확대될 수도 있고 또한 외부 건물이나 차량에서 발생한 화재가 수소저장탱크 방향으로 전파될 수도 있기 때문에 옥외소화전의 설치도 필요한 것으로 조사되었다. 옥외소화전설비의 경우 소방시설법에서는 공장 또는 창고시설로 지정수량 750배 이상의 특수가연물을 저장·취급하는 곳에 설치하도록 되어 있어 현재 법령에서는 설치할 필요가 없다.

수소충전소에 필요하다고 의견이 일치된 소방시설 중 일부는 이미 가스관계법령에 근거하여 설치하고 있지만 자동화재탐지설비, 스프링클러설비, 옥외소화전설비는 설치 근거가 없는 실정이다. 소방시설법에서도 위험물 지정수량

에 따라 상시설비를 설치할 수 있도록 되어 있지만 수소가스는 해당사항이 없어 상기 언급된 소방시설들을 설치하기 위한 법령의 개정이 필요하다.

3.2 수소충전소 소방시설 설치기준

수소충전소에 필요한 소방시설들을 설치하기 위해서는 관련 법령이나 기술기준에 해당 소방시설들에 대한 내용들이 명시되어 있어야 한다. 앞에서 언급된 수소충전소에 필요한 소방시설이 법령이나 기술기준 등에 어떻게 포함되는 것이 적합한 것인지에 대해 1차 델파이 조사에서 도출된 다섯 가지 항목들에 대해 매우 적합하지 않다(1점)부터 매우 적합하다(5점)까지 수치화된 조사를 실시했다. Table 4에서와 같이 2차 델파이 조사에서는 2번 항목인 화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령 별표 2의 특정소방대상물에서 위험물 저장 및 처리시설 중 가스시설에서 가연성 가스의 저장용량의 범위를 변경하여 현재 국내에서 가장 많이 설치되고 있는 약 300 kg 내외의 튜브트레일러 사용하는 저장식 수소충전소가 특정소방대상물에 포함되도록 법령을 개정하는 방안이 가장 높은 평균점수를 보였다. 동일하게 높은 점수로 평가된 항목은 5번으로 고압가스안전관리법에서 수소충전소에 설치하는 소방시설의 경우 화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률에 따라 설치하도록 명시하여 소방시설 설치에 대한 내용이 서로 중복되지 않도록 하는 것이었다.

다섯 가지 항목들은 모두 CV값이 0.5 이하로 전문가 패널의 합의가 이루어졌으나 한국가스안전공사 기술기준에 구체적인 소방시설을 명시하거나 (2번) 고압가스안전관리법의 피해저감설비에 구체적으로 소방시설을 명시하는 (3번) 방법에 대해서는 중요성이 크지 않은 것으로 조사되었다.

Table 4. The Second Delphi Survey Data Regarding Fire Design Codes

Category	No.	Mean	SD	CVR (> 0.51)	Suitability	CV (< 0.5)	Consensus
II. Fire design code	1	4.21	0.94	0.57	Suitable	0.223	Agree
	2	4.29	0.80	0.57	Suitable	0.186	Agree
	3	3.64	1.04	0.00	Unsuitable	0.286	Agree
	4	3.79	0.94	0.14	Unsuitable	0.248	Agree
	5	4.29	0.88	0.71	Suitable	0.205	Agree

Table 5. The Third Delphi Survey Data Regarding Fire Design Codes

Category	No.	Mean	SD	CVR (> 0.51)	Suitability	CV (< 0.5)	Consensus	Stability
II. Fire design code	1	4.21	0.94	0.57	Suitable	0.223	Agree	0%
	2	4.50	0.63	0.86	Suitable	0.139	Agree	4%
	3	3.57	0.98	0.00	Unsuitable	0.274	Agree	1%
	4	3.64	1.04	0.00	Unsuitable	0.286	Agree	3%
	5	4.36	0.97	0.57	Suitable	0.223	Agree	1%

수소충전소 소방시설 설치 방법에 대한 3차 델파이 조사 결과를 Table 5에 나타내었다. 2차 조사에서와 동일하게 각각의 항목에 대한 전문가패널의 의견편차가 크지 않아 모두 일치된 결과를 보였으며, 중요도에 대한 조사결과도 2차 델파이 조사결과와 동일했다. 2번 항목의 경우 평균값을 비교할 때 2차보다 4% 더 적합하다고 조사되어 다섯 가지 항목 중 가장 높은 평균값을 보였다. 그 다음으로는 5번 항목으로 고압가스안전관리법과 연계해야 한다는 내용이 적합하다고 조사되었다.

소방시설 설치를 위한 법령이나 규정에 대한 델파이 조사에서는 국내에서 설치되고 있는 수소충전소의 수소탱크 용량에 맞춰 소방시설법에 명시된 위험물 저장 및 처리시설 중 가스시설에 포함되도록 특정소방대상물의 범위를 변경하는 것이 가장 적합한 것으로 판단하였다. 미국방화협회의 수소관련 기술기준인 NFPA 2⁽¹⁵⁾에서는 건물이나 인근의 화재방호를 위해 NFPA 13⁽¹⁶⁾에 따라 스프링클러를 설치하도록 규정되어 있으며, 화재경보시스템의 경우 NFPA 72⁽¹⁷⁾에 따라 설계, 설치 및 유지하도록 명시되어 있다. 델파이 조사에서 도출된 소방시설을 수소충전소에 설치하기 위해서는 특정소방대상물에 수소충전소가 포함되도록 수소충전소 탱크용량을 별도로 지정하고, 특정소방대상물의 관계인이 특정소방대상물의 규모·용도 및 수용인원 등을 고려하여 갖추어야 하는 소방시설의 종류에서 자동화재탐지설비, 스프링클러설비, 옥외소화전설비를 설치해야 하는 특정소방대상물에 수소충전소가 들어가도록 변경하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

4. 결 론

국내 수소충전소의 설계는 고압가스안전관리법, 고압가

스 안전관리기준 통합고시와 한국가스안전공사 가스기술 기준에 의거하여 이루어지고 있다. 저장식 수소자동차 충전의 시설·기술·검사 기준⁽⁸⁾에서 화재안전을 위한 소화설비의 경우 20-B:C 이상의 소화기를 설치하도록 명시하고 있다. UL 711⁽¹⁸⁾에 명시된 20-B는 내부면적이 4.65 m²인 팬 내부에서 약 227 L의 연소하는 탱크를 소화할 수 있는 것을 의미한다. 국내에서는 소화기구 및 자동소화장치의 화재안전기준(NFPA 101)에 따라 소화기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준에서 제시하고 있는 소화능력시험을 통해 소화기의 능력이 결정되며, 유류화재(B급)에 사용 가능한 소화기의 능력은 ‘단위’로 표시하며 전기화재(C급)에 사용 가능한 소화기는 적응성만을 표시한다. 국내에서 유류화재 20단위는 연소면적의 크기가 4 m²인 팬에 30 mm 두께의 휘발유에 불을 붙인 뒤 1 min 후에 소화하고 소화약제 방사 후 1 min 이내에 다시 재연소되지 않는 기준을 통과하는 것을 의미한다. 유류화재에 적응성 있는 소화기의 경우 UL에서 제시하는 20-B와 국내 기준에 따른 20단위가 유사하기는 하지만 한국가스안전공사 가스기술기준에서는 설계자의 혼란을 방지하기 위해 국내에서 사용되는 20단위로 변경할 필요성이 있다. 또한 한국산업안전보건공단의 수소충전소의 안전에 관한 기술지침⁽⁶⁾에 따르면 소화설비는 위험물안전관리법에서 정하는 바에 따라 설치하도록 명시되어 있다. 하지만 위험물안전관리법상의 위험물은 산화성 고체, 산화성 액체 등 고체와 액체로 이루어진 물질에 대해서만 정의하고 있어 기체인 가스시설에 적응성 있는 소화설비는 제시하고 있지 않아 법령간의 연계가 체계적으로 이루어지지 않았다.

수소충전소의 안전성 향상을 위해 필요한 소방시설과 그 소방시설들을 어떻게 규정하여 설치하는 것이 적합한지에 대해 델파이 기법을 활용해 조사하였다. 소방시설로는

자동화재탐지설비, 스프링클러설비, 대형 및 소형 소화기, 가스누설경보기, 옥외소화전설비가 도출되었다. 미국방화협회의 수소관련 기술기준에서는 화재방호를 위해 스프링클러와 화재경보시스템을 설치하도록 규정하고 있는 것을 볼 때 델파이조사를 통해 도출된 소방시설들은 수소충전소의 안전성을 담보하기 위해 필요한 것으로 판단된다. 도출된 소방시설들을 설치하기 위해서는 화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률상의 특정소방대상물에 수소충전소가 포함되도록 가스시설의 수소가스범위를 조정하고 이를 고압가스안전관리법이나 한국가스안전공사의 가스기술기준과 연계하는 것이 가장 합리적인 것으로 조사되었다. 다만, 이번 델파이조사에서는 소방분야 전문가들이 참가했는데, 가스시설의 경우 현재 가스관련법령과 기술기준으로 관리되고 있기 때문에 향후 고압가스분야 전문가의 의견에 대한 조사도 필요할 것이다.

수소충전소가 특정소방대상물에 포함되어 델파이 조사에서 도출된 소방시설들을 설치하는 경우, 수소충전소의 특성을 고려하여 국가화재안전기준을 달리 적용하는 방안 등에 대해 향후 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 소방청 ESS·수소시설 화재안전기술 연구개발 사업(과제번호: 20011579)의 연구비지원으로 수행되었습니다.

References

1. Maeil economy news, <https://www.mk.co.kr/news/business/view/2021/09/860095/> accessed 10 Sep. 2021.
2. Korea Development Institute, <https://eiec.kdi.re.kr/policy/materialView.do?num=216051> accessed 20 Aug. 2021.
3. Hydrogen Covergence Alliance, H2KOREA, <http://gis.h2korea.or.kr/> accessed 14 Sep. 2021.
4. Metropolitan Transport Commission, https://www.molit.go.kr/mtc/USR/N0201/m_36770/dtl.jsp?id=95082944 accessed 10 July 2020.
5. REUTERS, <https://www.reuters.com/article/us-nel-blast-idUSKBN2AG2N4> accessed 12 Sep. 2021.
6. KOSHA GUIDE P-30-2012, “Technical guide for hydrogen refueling station safety”, Korea Occupational Safety and Health Agency (2012).
7. Ministry of Trade, Industry and Energy, “HIGH-PRESSURE GAS SAFETY CONTROL ACT, Act no. 17091”, (24 Mar. 2020).
8. KGS FP 217, “Code for Facilities, Technology and Inspection for Vehicle Refueling by Delivery of Compressed Hydrogen”, Korea Gas Safety Corporation (2020).
9. J. S. Lee, “Delphi method”, Kyoyookbook, Paju, Korea (2020).
10. M.-C. Kim, H.-J. Kim, K.-H. Park, H.-K. Youn and S.-H. Lee, “Analysis of Fire Risk Assessment Indicators of Publicly-Used Establishments using Delphi/AHP”, Fire Science and Engineering, Vol. 33, No. 6, pp. 87-94 (2019). <https://doi.org/10.7731/kifse.2019.33.6.087>.
11. J. Choi and J. Choi, “A Study on the Technical Feasibility Evaluation Index of Aged Apartment Remodeling through Delphi Method - Focused on Vertical and Horizontal Extension Remodeling -”, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 37, No. 2, pp. 25-33 (2021). <https://doi.org/10.5659/JAIK.2021.37.2.25>.
12. M. Kim, “Reclassification and Analysis of an Importance of Specified Objects for Fire Fighting Service through the Use of Delphi Method and AHP”, Proceedings of 2018 Autumn Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 177-188 (2018).
13. C. H. Lawshe, “A QUANTITATIVE APPROACH TO CONTENT VALIDITY,” Personnel Psychology, Vol. 28, No. 4, pp. 563-575 (1975). <https://doi.org/10.1111/j.1744-6570.1975.tb01393.x>.
14. H. A. von der Gracht, “Consensus measurement in Delphi studies Review and implications for future quality assurance”, Technological Forecasting and Social Change, Vol. 79, No. 8, pp. 1525-1536 (2012). <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.04.013>.
15. NFPA 2, “Hydrogen technologies code”, National Fire Protection Association (2020).
16. NFPA 13, “Standard for the installation of sprinkler systems”, National Fire Protection Association (2019).
17. NFPA 72, “National fire alarm and signaling code”, National Fire Protection Association (2019).
18. UL 711, “Rating and fire testing of fire extinguishers”, Underwrite Laboratories (2018).