

수소충전소의 정성적·정량적 통합 사전 안전성 검증 진단 시뮬레이션 Tool 개발에 관한 연구

고재선*

*호원대학교 소방안전학과

119kjs@howon.ac.kr

A Study on the Development of Tool, an Integrated Qualitative and Quantitative Pre-safety Verification Diagnostic Simulation for Hydrogen Refueling Stations

Koh Jae Sun*

*Dept. of Fire Safety, Howon University

요약

현재 국내 수소충전소 보급 확대 추진 중이나 수소충전소의 설계 및 구축 시 위험요인 진단 미흡 등으로 인한 충전소 가동 중지가 빈번하게 발생하고 있어, 수소충전소의 안전성 확보가 시급하고, 안전성 사전진단 기술개발 필요하다. 그리고 기체·액체 수소충전소 점검과 운영 관리 경험, 설계·시공·운전 기술 등 안전관리역량 부족으로 설비 장애에 즉각적 대응이 곤란한 점이 부각되고 있다. 이를 해결하기 위하여 수소 충전 제어로직의 적정성과 효과성을 평가하기 위해 What-if Simulation을 개발하여 실증실험을 행하였다. 해당 시뮬레이션은 다양한 가상 시나리오를 설정하고, 각 조건에서 발생할 수 있는 잠재적 위험을 식별하는 데 초점을 맞추어 설계되었고, What-if Simulation은 수소 충전 과정에서 발생할 수 있는 문제 상황을 가정하여 이를 분석하고, 해당 상황이 충전 시스템에 미치는 영향을 평가하기 위한 도구로 개발하였다. 이 결과 수소충전소의 설계 및 운전상의 안전성 확보를 통해 사전 안전성 검증에 활용될수 있는데 설계 및 운전상의 결함을 사전에 확인하여 변경함으로써 경제적 효과 및 사고 예방이 가능하고, 사고 예방을 위한 설치, 유지, 보수 및 사고 피해 완화를 위한 비상대응 및 운전매뉴얼 작성에 활용될 수 있을 것이다.

Keywords : Hydrogen refueling station, Virtual scenario, Hydrogen refueling control logic, What-if Simulation, Spreadsheet, Sweep variables, MATLAB

1. 개요

현재 국내 수소충전소 보급 확대 추진 중이나 수소충전소의 설계 및 구축 시 위험요인 진단 미흡 등으로 인한 충전소 가동 중지가 빈번하게 발생하고 있어, 수소충전소의 안전성 확보가 시급하고, 안전성 사전진단 기술개발 필요하다. 구체적으로 몇 가지 살펴보면 수소생산기지, 충전소 등 관련 시설 구축이 속도감 있게 진행됨에 따라 그에 대응하는 안전관리 법·제도 마련이 시급한 정책과제로 대두되고 있으나 설계·시공 단계에서의 안전성 검증이 철저하게 이루어지지 않은 상태로 충전소 시공·운영이 진행됨에 따라 잦은 고장, 사고 위험 노출 및 경제적 손실이 초래되고 있다. 아울러 수소충전소 사업자의 수익성 부족으로 안전관리자 채용, 위험성 진단 등 안전관리 비용에 대한 부담을 호소함에 따라 충전소 운영·관리 등 안전성 확보를 위한 지원이 필요한 시점이다. 그리고 기체·액체 수소충전소 점검과

운영 관리 경험, 설계·시공·운전 기술 등 안전관리역량 부족으로 설비 장애에 즉각적 대응이 곤란한 점이 부각되고 있다. 따라서 수소 설비는 신기술이 적용되고 새롭게 시장이 형성 중으로 글로벌 기준을 감안하여 국내 안전기준 정립 및 안전진단기술개발이 필요하다.

2. 문제점 및 해결 방안

2.1 기체/액화 수소충전소의 설계단계부터 운전까지의 안전성 확보를 위한 사전 안전성검증 통합지원 플랫폼 지원부재

해결방안으로는 현행 석유화학플랜트 평가 기준인 정성적 위험성 평가 및 LOPA 등에 대해 국내 수소충전소 적용을 위한 안전성 검증 기준 및 프로그램 개발을 도모할 필요가 있다.

2.2 정성적 위험성 평가 및 LOPA 등에 관한 현행 평가의 기준과 방법은 석유화학플랜트에 적합하게 개발된 것들이라 수소충전소에 적용할 경우 평가자마다 상이한 결과가 도출될 우려가 있다.

해결방안으로는 수소충전소에 특화된 평가의 기준과 방법을 개발하고, 설계·시공·운영 전문가들이 모여 정성적 위험성 평가 및 LOPA를 실행할 수 있도록 지원하는 스프레드시트 프로그램을 개발하여 보급이 필요하다.

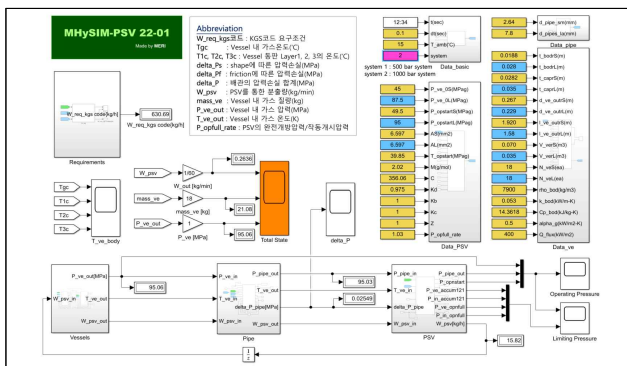
3. 연구방법 및 성과

3.1 안전성능 및 충전성능 관련 제어로직의 적정성 및 효과성 평가 기능 구현

예를 들어, 온도 센서의 계측 오류로 인해 실제 온도보다 낮거나 높은 값이 측정되는 상황을 시뮬레이션하여, 이러한 계측 오류가 충전 온도 및 압력 관리에 미치는 영향을 분석하였고, 이 과정에서 MATLAB 코드를 통해 각종 시뮬레이션 데이터를 자동으로 생성하고 분석할 수 있는 기능을 개발하였다.

3.2 공정결함(안전장치 고장 등), 비상상황(안전밸브 작동 등) 모사 기능 구현

안전밸브 시뮬레이터는 공정결함이나 비상상황에서의 안전장치 작동을 모사하기 위한 도구로 설계되었으며, 특히 화재로 인한 열전달 과정과 이에 따른 압력 상승을 포함하여 압력용기와 안전밸브 간의 상호작용을 시뮬레이션으로 분석할 수 있도록 설계하였다. 이를 통해 시스템 고장 상황과 안전밸브 작동 시나리오를 기반으로 안전성을 검토할 수 있는 기반을 마련하였다.



[그림 1] Implementation of a safety valve simulator using MATLAB/Simulink.

4. 연구개발성과의 활용방안 및 성과

4.1 그린 모빌리티 보급 확대 기반 마련

수소충전소 설계·시공·운영 최적화를 위한 Dynamic Simulator 개발로 수소충전소 구축 가속화의 기반을 마련하여, 한국형 뉴딜 종합계획('20.07)의 일환으로 진행되는 “그린뉴딜 사업”의 친환경·저탄소 전환 가속화 전략에 따른 수소 모빌리티 확대 보급 목표 달성에 이바지할 것으로 기대된다.

4.2 수소충전소 안전성 및 신뢰성 확보

수소충전소 관련 안전기술 및 안전기준을 개발하여 수소충전소 설계-시공-운영의 안전성 및 신뢰성을 확보할 수 있으며, 위험성의 기준, 평가의 절차 및 평가 결과 판정의 기준과 적용하는 Data의 종류와 수준을 통일하여, 안전성 평가 결과의 비교·검증이 가능하도록 수소충전소 특화 안전성 검증 프로그램을 개발 및 보급할 수 있다.

5. 결론

수소충전소의 설계 및 운전상의 안전성 확보를 통해 사전 안전성 검증에 활용될 수 있는데 설계 및 운전상의 결함을 사전에 확인하여 변경함으로써 경제적 효과 및 사고 예방이 가능하고, 사고 예방을 위한 설치, 유지, 보수 및 사고 피해 완화를 위한 비상대응 및 운전 설명서 작성에 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] Shim Gyu-seok, Park Byeong-hong, “Analysis of Back-to back Refueling for Heavy Duty Hydrogen Fuel Cell Vehicles Using Hydrogen Refueling Stations Based on Cascade System”, Journal of Hydrogen & New Energy, Vol 35, No 3, pp 300-309, 2024.

[2] Nam Min-seo, Yoo Byung-tae, “Hazardous Material Process Risk Evaluation Using HAZOP and Bow-tie”, Journal of Korean Institute of Gas, Vol 28, Nov1, pp 35-43, 2024.