



## CNG충전소 안전·운영 관리를 위한 시스템 구축에 관한 연구

양재모 · 김범수 · 용종원 · 고병석 · 이동혁 · <sup>†</sup>고재욱

광운대학교 화학공학과

(2011년 11월 1일 접수, 2011년 12월 23일 수정, 2011년 12월 23일 채택)

### A Study on Safety and Operational Management System for CNG Filling Stations

Jae Mo Yang · Bum Su Kim · Jong Won Yong · Byung Seok Ko  
· Dong Hyuk Lee · <sup>†</sup>Jae Wook Ko

Department of chemical Engineering, Kwangwoon University

(Received November 1, 2011; Revised December 23, 2011; Accepted December 23, 2011)

#### 요 약

유해 위험 요인이 있는 시설물의 안전에 대한 의식을 고취시키기 위해서는 현장 종사자뿐만 아니라 관리자와 경영자도 해당 시설물에 대한 모니터링이 가능해야 한다. 그러나 우리나라에 있는 대부분의 CNG충전소는 로컬 형식의 모니터링 시스템이 사용되고 있으며 이러한 점을 고려하여 웹상에서 운용할 수 있는 충전소 관리 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 U-GSMS(Ubiquitous Gas Safety Management System)라고 명명하였다. U-GSMS는 크게 프로그램 부분과 하드웨어 부분으로 나눌 수 있다. 프로그램 부분은 안전과 운영을 관리 할 수 있는 시스템으로 구성하였으며 하드웨어 부분은 가스시설물에 적용할 수 있는 센서, 센서간의 통신 그리고 센서와 기기 간의 통신을 위하여 USN(Ubiquitous Sensor Network)기술을 적용하여 무선 통신 시스템을 구축하였다. 이 논문에서는 주로 U-GSMS 중 프로그램에 관하여 기술하였다.

**Abstract** - All over the nation, a lot of industrial complex utilize gas as their energy source. Possibilities are fire, explosion, and leakage could happen any time in these large complexes. To prevent these tragic accidents and to minimize the damage when the accident occurs, the development of diagnostic technology for these facilities is imperative. The safety check is conducted on an individual and partial basis, currently. Accordingly, the accumulation and improvement of the safety management technology is necessary in order to make all the different checking techniques and management systems compatible, since checking processes, result interpretation techniques, and subsequent prognoses are not the same.

The program provides damage scenarios from gas leakage. The output enables policy makers to predict the degree of infliction. Through this program, engineers are able to design an effective gas safety program to operate and maintain ubiquitous gas facilities.

**Key words** : CNG filling station, monitoring, quantitative risk analysis, emergency responds, safety level assessment

<sup>†</sup>교신저자:jwko@kw.ac.kr

## I. 서론

우리나라에는 가스를 사용하는 에너지 산업시설(가스 배관, 충전시설, 저장시설 등)이 전국에 산재해 있다. 특히 천연가스는 값싼 가격과 친환경적인 측면에서 사용이 점점 확대되고 있고 정책적으로도 2012년에는 시내버스의 약 90%가 천연가스 버스로 대체될 예정이다. 천연가스차량이 늘어나게 되면 이를 운영하기 위한 압축천연가스 충전시설 같은 인프라가 더욱 더 늘어날 것이다[1].

천연가스시설에서는 화재, 폭발 등의 중대산업사고(Major Industrial Accident)가 발생 할 수 있다[1]. 이러한 사고를 방지하고, 만일 사고가 발생했을 경우 그 피해를 최소화하기 위해서는 각 시설의 리스크를 예측하고 안전성을 진단할 수 있는 기술의 개발과 사고 시에 대응할 수 있는 구체적 계획을 설계할 수 있어야 한다[2,3].

이러한 요구사항을 반영하여 이 연구는 국내·외 가스 사고를 조사하여 CNG충전소에서 발생 가능한 가스누출 사고 빈도 및 누출 사고 발생 원인을 분석하였고, 리스크 평가기준을 검토하여 가스누출 해석 모델과 가스 화재·폭발에 따른 피해범위를 예측할 수 있는 모델을 개발하였다. 그리고 실시간 모니터링을 통하여 운전 정보를 상시 감시 할 수 있고, 안전문화를 측정할 수 있는 시스템을 개발하였다.

마지막으로 개발품의 적용 대상이 되는 시설을 사전에 정하여 개발을 진행함으로써 연구를 통한 개발품이 현장에 바로 쓰일 수 있도록 진행 하였다.

## II. 시스템 구성

U-GSMS는 CNG충전소를 대상으로 하여 USN 기술기반으로 기존에는 분산되어 있거나 또는 사용되고 있지 않은 기술들을 통합하여 웹 기반에 구현한 시스템이다. 이 논문에서는 U-GSMS 중 프로그램에 적용된 기술에 대하여 서술 한다. 프로그램은 CNG충전소의 데이터를 데이터베이스화 하여 구성하였으며 크게 안전 관리를 위해 개발된 부분과 운영 관리를 위해 개발된 부분으로 나눌 수 있다.

안전 관리 부분은 정량적 리스크 평가(Quantitative Risk Assessment, QRA), 비상대응, 모니터링 모듈로 운영 관리 부분은 안전수준평가, 점검이력 관리 모듈로 나누어 구성하였다.

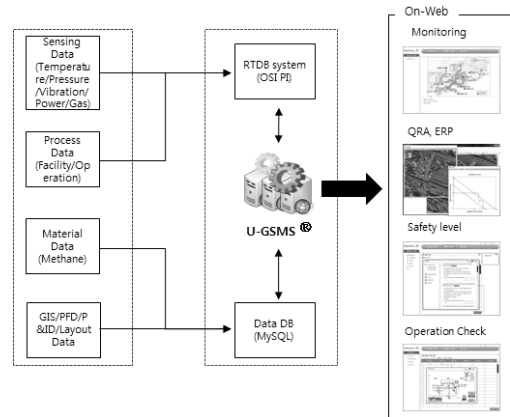


Fig. 1. Overview of System(U-GSMS)

## III. 안전 부분 모듈

CNG 충전 시설에서 일어날 수 있는 사고를 방지하고, 사고 발생 시 그 피해를 최소화하기 위해서 가장 사용 빈도가 높고 리스크가 큰 천연 가스 압축기에 대하여 상시 모니터링이 가능 할 수 있게 시스템을 구성하였고 리스크를 진단 할 수 있는 기술과 이를 바탕으로 비상시 합리적인 대응을 할 수 있도록 모듈을 구성하였다.

### 2.1. QRA System

정량적 리스크 평가란 공정에서의 잠재위험을 확인하여 시나리오에 대한 사고 빈도와 사고결과 분석을 통해서 리스크를 표현하는 것으로 사고에 의해서 인체나 건물에 미칠 수 있는 영향을 정량적으로 평가는 것이다[2]. 가스시설 관련 사고에 대한 사례를 분석하여 사고의 근본 원인 및 메커니즘을 분석하여 사고요인을 도출 및 예방하는 시스템과 가스 사고에 대하여 나타날 수 있는 영향을 모사하고 그 피해범위, 피해 강도 등을 예측 할 수 있다.

이 연구를 통해 개발된 QRA 시스템은 CNG의 특성에 맞추어 FTA(Fault Tree Analysis), CA(Consequence Analysis) 프로그램을 개발하여 적용하였고, 분석된 데이터를 UI(User Interface)에 맞춰 도해할 수 있는 프로그램이다.

Table 1.은 시스템에 적용된 기술과 구현 시에 필요한 정보와 순서이다. 적용 기술은 CCPS(Center for Chemical Process System) 가이드라인[3]을 적용하였으며 필요정보와 순서는 CNG특성에 맞추어 개발하였다.

**Table 1.** QRA system module

QRA System	Technique	Input data and procedures
Consequence Analysis	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Accident scenario analysis</li> <li>· Source Model</li> <li>· Dispersion Model</li> <li>· Effect Model</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Selection of Material</li> <li>· Weather conditions</li> <li>· Incident outcome</li> <li>· Incident outcome cases</li> <li>· Risk presentation</li> </ul>
Individual Risk	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Individual Risk contour</li> <li>- Contour lines connecting points of equal risk superimposed over local map</li> </ul>	(Result of Consequence Analysis) <ul style="list-style-type: none"> <li>· Selection of Material</li> <li>· Weather conditions</li> <li>· Incident outcome</li> <li>· Incident outcome cases</li> <li>· Risk presentation</li> </ul>
Societal Risk	<ul style="list-style-type: none"> <li>· F-N Curve</li> <li>- A graph of the cumulative probability of events causing N</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· The number of people who might be affected</li> <li>· Result of Consequence Analysis</li> </ul>

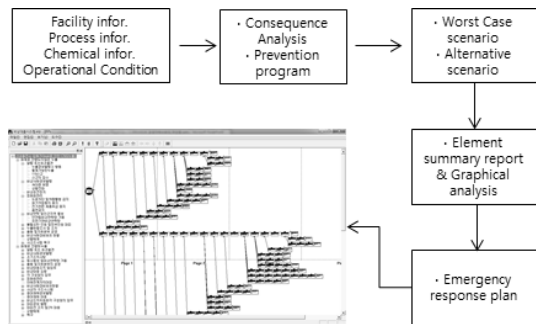


**Fig. 2.** QRA based on web.

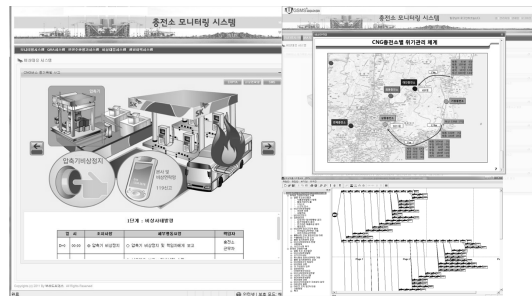
Fig. 2.는 QRA가 시스템 상에서 구현된 화면이다. 충전소의 지리정보를 활용하여 개인적 위험이 어떻게 형성되는지 시각적으로 보여준다.

## 2.2. 비상대응 시스템

빈번하게 일어날 가능성이 있는 사고의 시나리오를 제시하여 능동적으로 대응할 수 있고 사고예방에 도움을 줄 수 있는 시스템을 개발하였다. 사고 대응 기관 등에 대한 정보를 이용하여 해당 사업장에서 실용적으로 활용할 수 있는 사고 대응 시스템을 개발 하였다. 또한 CNG충전소에서 일어날 수 있는 시나리오를 구성하여 각 시나리오에 맞는 비상대응 절차 세부요소 DB구축 및 가이드라인 탑재하여 사용



**Fig. 3.** Conceptual flowchart of Emergency response



**Fig. 4.** Emergency Responds based on web

자가 비상대응을 구성할 수 있게 개발 하였다.

Fig. 3. 은 시스템에 적용한 비상대응에 대한 핵심 개념이다. 시설, 시설 정보, 물질 정보, 운전 조건을

토대로 정량적 리스크 분석을 통하여 사고 시나리오를 선정, 확인하여 비상대응체계를 구축할 수 있도록 구성하였다.

Fig. 4. 의 시스템에 구현되는 비상대응 모듈이다. 리스크 분석을 통해 도출된 결과를 시나리오로 구성하여 여기에 대응 전략, 상호 지원 시스템, 대응 설비를 확인, 검토하여 사고 명령 체계를 구성하였고 이를 도식화 하여 교육 및 훈련 효과를 증대하였다.

### 2.1.3. 모니터링 시스템

공정 모니터링 기술은 공정 내에서 일어나는 예상치 못한 조업변화 및 이상을 조기에 감지하고 조업 이상에 영향을 끼친 근본 원인을 밝혀내어 제거해 줌으로써 공정의 안정적인 조업과 안전한 운영을 가능케 한다[4].

충전소에서 쓰이고 있는 기존의 모니터링 시스템

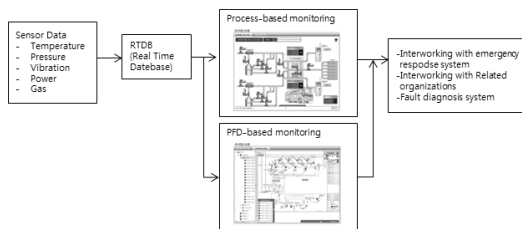


Fig. 5. Flowchart of monitoring system.

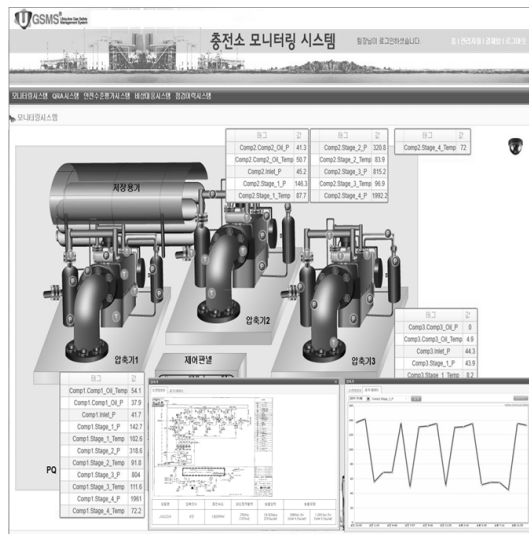


Fig. 6. Process based monitoring.

은 분산제어시스템에서 운전 자료를 받아와서 운전 관리에 필요한 정보를 응용프로그램을 통하여 실시간으로 운전자에게 데이터를 보여주는 형식이다.

이 연구를 통해 개발된 시스템의 구조에는 제어 시스템에 이력 정보를 분석할 수 있고 현재 제어 시스템으로부터 받은 값들을 이상 감지 및 진단 시스템에 실시간으로 보내줄 수 있도록 실시간 데이터베이스 기반의 모니터링 시스템이다.

Fig. 5, Fig. 6.은 개발된 모니터링 시스템의 흐름과 웹상에서 구현되는 화면이다. 공정기반 모니터링은 실제 공정 환경과 유사하게 디자인하였으며 충전소 도면에 센서 정보를 표시하여 이상 알람이 도면 위에서 표시 될 수 있도록 구성하였다.

과거 운전 데이터를 활용 하여 트렌드를 분석하고 보여줌으로써 운전 진단의 정확함을 할 수 있다. 또한 온도 및 압력 데이터에 의존하였던 모니터링에 진동 및 전기 센서를 추가하여 설비에 대한 모니터링에 신뢰도를 높일 수 있도록 개발 하였다.

## IV. 운영 부분 모듈

현재 CNG충전소 현장에서 사용되는 관리 시스템은 충전시스템의 운전에 대한 모니터링과 매출 관리를 위한 POS(Point Of Sales)시스템으로 구성되어 있다. 시스템의 범위 또한 기기나 설비에 대하여 운전 에 대한 모니터링만 하고 충전소 내에서만 운영 되는 로컬 시스템으로 본사의 상황실이나 관리자가 충전소의 운영 상태를 모니터링 할 수 없다.

이러한 점은 본사의 관리자와 현장의 종사자간의 의사소통이 되지 않아 안전한 충전소 관리에 영향을 끼치고 결과적으로 운영부분에 부정적 영향이 생긴다. 이러한 부분을 개선하기 위하여 안전수준과 안전문화를 측정 할 수 있는 안전수준평가 시스템을 개발하였다.

CNG충전소는 법적 관리를 받는 시설이기 때문에 정기적 점검이 필수 사항이다. 이러한 점검은 현재 중이에 의한 수기방식으로 이루어져 있다. 설비의 점검이력을 전산화 하고 자동화하는 시스템을 개발 하여 효율적 활용이 가능하도록 구성하였다.

### 2.2.1. 안전수준평가 시스템

가스 관련 시설은 유해·위험물질과 위험시설을 취급하기 때문에 항상 중대산업사고의 발생위험이 내재되어 있다. 이러한 위험시설의 공정안전수준은 해당 사업주의 의사결정과 조치에 의해 향상 될 수 있다. 이를 위해서는 시설의 수준이 어느 정도 인지 객관적이고 지속적인 관리가 필요하다[5].



Fig. 7. Safety level assessment based on web.

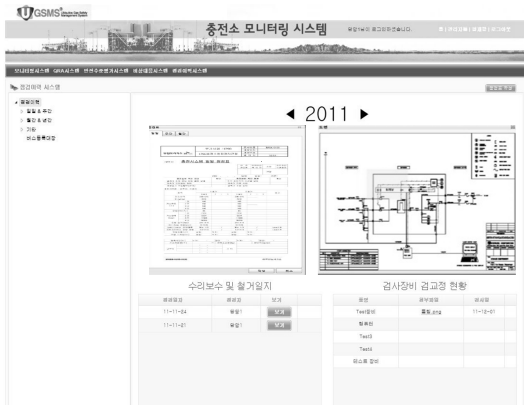


Fig. 8. Facility management system.

안전수준에 영향을 주는 요소별로 안전의식을 향상시키기 위한 설문과 가스관련자 안전 의식을 측정할 수 있는 설계를 통해 종사자의 안전수준 측정 모델을 개발하여 적용하고 각각의 항목에 법적으로 지켜야 하는 요소들을 적용하여 평가와 교육을 동시에 진행할 수 있는 시스템을 개발하였다.

이러한 시스템은 현재 수행되고 있는 안전관리 활동, 규정 및 절차가 어떻게 인식되고 있는지 알 수 있으며 안전 수준의 객관적인 데이터와 모든 절차를 관리자가 모니터링 할 수 있어 미흡한 부분에 대한 논리적 근거를 마련하여 안전·운영 시스템의 개선 방향을 수립할 수 있다.

### 2.2.2. 점검이력 시스템

CNG충전소에서 다발적이고 주기적으로 수행되는 점검 업무는 종이에 수기로 작성하는 방식으로 이루어져 설비 점검 자료의 공유나 과거 데이터의 활용에 많은 어려움이 있다. 이러한 점검 업무를 자동화와 전산화를 통하여 업무 과부하를 줄이고 데이터베이스에 보관하여 웹상에서 결과를 조회하고 분석이 가능할 수 있도록 구성하였다. 이를 통해 데이터 활용을 높이고 결재 및 보고서 출력 기능이 가능토록 하여 원활한 업무 처리를 할 수 있도록 구성하였다. 이러한 시스템은 점검 작업의 표준화, 전산화로 점검업무의 결과 데이터에 대하여 신뢰도를 향상시킬 수 있으며, 업무 결과 공유가 가능해져 데이터 활용도 및 문제 대응 수준을 높일 수 있을 것으로 예상된다.

## V. 결론

이 연구를 통해 개발된 U-GSMS는 CNG충전소 안전·운영의 효율적인 관리를 위하여 개발된 시스템이다. 충전소 관리 시스템을 웹상에서 구현함으로써 현장 종사자뿐만 아니라 관리자, 경영자도 충전소 운영을 모니터링 하여 효율적인 안전 관리를 도출할 수 있다.

또한 개발된 시스템의 특징은 시스템 관리 부분에서 웹 기반의 시스템으로 클라이언트 프로그램 배포나 별도의 설치과정이 불필요하고 프로그램 수정 및 기능 개선의 편의성이 높다. 또한 공급자의 원격 유지 보수가 가능하여 개발자의 지속적인 유지 보수가 가능하며 시스템 자체의 모니터링이 가능하여 시스템 자체의 관리가 쉽다.

사용자 편의성의 측면에서 시스템의 초기 정착을 위하여 해당 사업장에 맞는 사용자 인터페이스를 구성하였으며 웹 형식의 관리 시스템으로 별도의 교육 없이도 사용할 수 있도록 구성하였다.

향후 계획은 공정 모니터링 모듈에 이상진단 모듈을 더하여 시범사업장에서 지속적으로 실증시험을 하여 시스템의 신뢰도를 높일 예정이다.

## 감사의 글

본 연구는 지식경제부의 에너지기술혁신 프로그램으로 지원되었으며 이 논문은 “차세대에너지안전연구단”의 연구 결과입니다.

(세부과제번호 : 2010201010095C-21-1-000)

### 참고문헌

- [1] 이동춘, "CNG 충전소의 누출/확산에 대한 위험성 평가", 한국안전학회 1998년도 춘계 학술논문발표회 논문집, 1998, pp. 137-140(1998)
- [2] Crowl, D.A. and J.F. Louvar, "Chemical Process Safety : Fundamental with Applications", Second Edition, Prentice-Hall, New Jersey,(2002)
- [3] AIChE/CCPS, "Guideline for Chemical Process Quantitative Risk Analysis", Second Edition", New York,(2000)
- [4] 유창규, 최상욱, 이인범, "공정 모니터링 기술의 최근 연구 동향", Korean Chem. Eng. Res., Vol. 46, No. 2., April, 2008, pp.233-247
- [5] 한국산업안전공사, "화학공장의 휴먼에러방지대책", 1998