



## 에너지 사용 밀집지역에서의 가스 관련 화재예방 기법 개발

†김정훈 · 김영구 · 조영도

한국가스안전공사 가스안전연구원

(2017년 5월 22일 접수, 2018년 2월 22일 수정, 2018년 3월 8일 채택)

## Development of the Fire Prevention Method related to Gas in the Area of Dense Energy Consumption

†Jung-Hoon Kim · Young-Gu Kim · Young-Do Jo

Institutes of Gas R&D, Korea Gas Safety Corporation, Eumseong, 369-811, Korea

(Received May 22, 2017; Revised February 22, 2018; Accepted March 8, 2018)

### 요약

전통시장, 지하상가 등에서는 많은 유동인구가 있고 가스·전기 설비가 동일구내에 설치되어 두 에너지원의 연관성에 의한 사고 가능성이 증대되고 있으며, 이러한 사고를 예방하고 신속 대응하기 위한 방안이 필요하다. 이 연구에서는 위험인자와 관련된 영향인자 센싱을 통해 사고예측을 하는 것을 목표로 한다. 전기적요인의 누설전류, 아크 등과 폭발사고 위험과 관련된 가스누출에 대해 IOT 센서를 통한 사고예방을 할 수 있는 안전관리 플랫폼 개발의 연구이며 이 논문에서는 가스 사고와 관련된 화재위험인자를 고려한 사고예측에 대한 연구 내용이다. 이러한 사고위험을 예방하기 위해서 연소기 주위에서의 온도변화 특성 분석을 수행하였고, 이를 고려하여 화재를 예방할 수 있는 사고전조 알고리즘과 관련된 모듈을 개발하였다.

**Abstract** - Accident likelihood is growing due to a correlation for gas and electricity installed in the area of dense energy consumption like traditional market and underground shopping center. In order to prevent and respond accident risks related to gas and electricity in this area, it should be monitored and predicted for factors of gas leak or electricity by developing safety management system. This study is about accident prediction model development considering fire risk factor related to gas accident. The temperature variation characteristic near a gas burner was analyzed. Also, accident prediction algorithm and related module were developed to prevent fire in the area of dense energy consumption.

**Key words** : the area of dense energy consumption, fire prevention, gas accident, accident prediction

### I. 서론

현재 액화석유가스(LPG)는 국내 수송용 사용이 대부분을 차지하고, 일반적으로 에너지 사용 밀집 지역이라고 할 수 있는 식품접객업소, 제1종 보호 시설 및 다중이용시설 등과 같은 상업 및 공공장소에서 최근 10년 소비량이 11%를 차지한다. 도시가스(LNG)의 경우는 16%정도로 소비되고있다.

또한, 전통시장, 지하상가 등과 같은 에너지 사용

밀집지역은 가스뿐만 아니라 전기 설비가 동일구내에 설치되어 두 에너지원의 연관성에 의한 사고 가능성이 증대되고 있다. 최근 10년간(2005~2015) 가스별 사고통계에서 LPG, 도시가스 및 고압가스는 전체의 71.5%, 18.6%, 10% 순으로 사고가 발생하였다. 가스 및 전기 관련사고와 연관성이 있는 사고는 폭발과 화재이며 최근 10년간 35.2%, 26.1%로 대부분을 차지한다[1].

가스 및 전기제품과 같은 화기를 취급하는 에너지밀집 지역에서 미흡한 안전관리 지식과 소홀한 관리체계가 화재예방의 취약과 밀집된 지역적 특성으로 연결되어 연소확대 용이성이 크다. 전통시장

†Corresponding author:jhkim223@kgs.or.kr

Copyright © 2018 by The Korean Institute of Gas

및 지하상가 등 에너지밀집 지역은 건물관리 소홀 및 소방시설 유지관리, 투자 미흡 등으로 인하여 체계적인 안전관리가 이루어지지 않아 재해의 확대 가능성이 존재한다.

이 연구에서는 에너지 사용 밀집지역에서의 위험인자와 관련된 영향인자를 IOT 센서를 통해 사고예측을 하는 것을 목표로 한다[2,3]. 에너지 사용 밀집지역에 가스과 전기를 사용하는 시설에서의 화재 및 가스누출 사고를 예방하기 위한 것으로 가스 관련 위험인자와 전기 관련 위험인자를 센싱하여 안전관리를 하는 연구이다. 가스 관련 위험인자 중 가스누출 외에 추가 위험인자로 인한 연소기 근처에서의 사고 발생 및 기타 화재에 대처하기 위한 것이다. 기존 화재 감지기는 설치가 되고 추가적으로 가스사용 시설에 대해서 가스사용 관련 위험인자와 관련된 센서가 연소기 주위에 설치하는 것이다.

가스 관련 화재사고와 관련된 화재 위험에 대해 통계 분석하였고 연소기 주위 온도가 중요하다는 결론을 얻었다. 가스 관련 화재 예방 방안으로 연소기 주위의 온도 측정을 위한 설치위치 검토, 연소기 주위 온도 데이터 특성 분석 및 사고예측기법의 알고리즘을 개발하고 안전관리 단계(안)와 활용방안을 제안하였다.

## II. 가스 관련 화재사고 통계분석

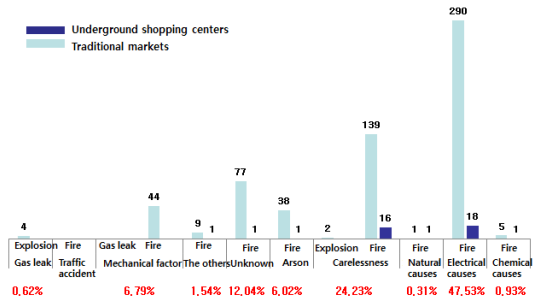
소방청 화재사고 통계데이터를 이용하여 에너지 사용 밀집지역인 지하상가와 전통시장에서의 위험요소와 위험요인을 분석하였다. 위험요소는 화재와 폭발로 구분하고 이에 따른 위험요인들을 최근 9년 데이터를 활용하여 Fig. 1과 같이 분석하였다 [4].

전통시장의 경우가 지하상가에 비해 안전관리가 미흡한 측면으로 인해 사고발생건수가 훨씬 많이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 주요 위험요인은 전기적요인, 부주의, 미상, 기계적 요인으로 각각 47.53%, 24.23%, 12.04%, 6.79%을 차지하였다.

전통시장과 지하상가에 대해 최근 9년 화재통계 데이터를 이용하여 위험인자의 사고순위를 Table 1 과 같이 분석하였다. 상위 사고순위는 대부분 전기적요인, 부주의, 기계적요인이며 가스과 관련된 위험인자는 7위 부주의(음식물 조리중), 14위 부주의(가연물근접방치) 등이라는 것을 알 수 있었다. 이러한 사고예방을 위해서 가스연소기 주위의 온도센서를 설치하고 모니터링을 통해 화재예방 및 가스 관련 폭발 사고 등을 예방할 수 있다고 판단하였다.

**Table 1.** Analysis of accident data for main fire causes in traditional market and underground shopping center[4]

Accident Ranking	Upper Risk Factor	Lower Risk Factor	Traditional Market Accidents	Underground Shopping Center	Sum
1	Electrical factor	Short circuit due to deterioration of insulation	78	4	82
2	Unknown	Unknown	77	1	78
3	Electrical factor	Unidentified short circuit	75	1	76
4	Carelessness	Cigarette ends	45	8	53
5	Mechanical factor	Overheating/ Overload	40	0	40
6	Electrical factor	Overload / Over-current	34	4	38
7	Carelessness	Preparing food	31	3	34
8	Arson	Arson suspicion	29	1	30
9	Electrical factor	Etc.	20	4	24
10	Electrical factor	Short circuit due to tracking	23	0	23
11	Electrical factor	Short circuit due to compression damage	20	1	21
12	Electrical factor	Short circuit due to misconnection	18	1	19
13	Carelessness	Etc.	19	0	19
14	Carelessness	Adjacent position of the flame	15	0	15



**Fig. 1.** Comparison of risk factors and risk causes in traditional market and underground shopping center[4].

## III. 가스 관련 화재 예방 방안

### 3.1. 연소기 주위 온도 측정을 위한 설치위치 검토

가스과 관련된 화재 및 폭발 등을 예방하기 위한 온도센서를 어느 위치에 설치하는 것이 적합한지 가스연소기 주위 환경을 검토하였다. 압력과 열량이 높은 업무용 대형연소기나 주물버너 등의 경우 연소 시 Fig. 2와 같이 연소기 주변의 온도가 상승하여 연소열등에 의한 화재발생 우려 및 연소기 주변의 배관의 경우 잦은 열 영향에 따른 배관 부식 발생 또는 배관 연결부의 누설 우려가 있다.

따라서, 업무용 대형 연소기 상부와 하부에는 부



Fig. 2. Damage due to combustion heat

식과 열 영향을 많이 받기 때문에 온도센서 부착 위치로 부적절하다고 판단하였다.

업무용 연소기의 과열화재, 유증기 화재, 후드 기름때로 인한 화재, 기타 연소기 주변 화재 등에 즉각적으로 계측하기 위해서 가스 연소기 근처에 설치하는 것이 바람직하다고 판단된다. 배관의 이음부는 가스가 누출되는 경우가 많으므로 전기계량기 및 개폐기와는 60cm 이상, 굴뚝, 전기점멸기, 전기접속기와는 30cm 이상, 전선과는 15cm 이상의 적정거리를 두어 전기적 스파크 등에 의한 가스폭발(화재)이 일어나는 것을 방지해야 한다 [5]. 중간밸브는 배관에 흐르는 가스를 차단하거나 열어주는 장치이며 배관과 호스 연결부에 설치하고 연소기를 설치한 실내에 조작하기 쉬운 곳에 중간밸브를 설치한다.

결론적으로 온도센서 부착 위치는 연소기 상하부는 열 영향과 부식 우려 등으로 적합하지 않고 가스누출에 취약한 배관 이음부의 하나인 중간밸브 근처 위치에 설치하는 것이 합리적이라고 판단된다. 실제 온도센서 부착 시 연소기를 작동시키고 주위온도를 파악하여 온도센서가 운용하기에 적합한 범위를 확인하여 중간밸브 근처 위치에 설치하도록 하는 방향이 적합하다고 판단되었다.

### 3.2. 연소기 주위 온도 데이터 특성 분석

연소기 주위의 온도변화는 일반적으로 조리 시작 시점으로부터 끓는 시점까지의 온도 상승 구간, 끓는 시점으로부터 타는 시점까지의 끓는 온도 구간이 Fig. 3과 같이 있다 [6]. ①은 온도가 상승하는 구간으로 끓기 전의 온도 패턴이고, ②는 온도가 어느 정도 일정하게 유지되는 구간으로 끓기 시작한 이후의 패턴이며, ③은 온도가 다시 급하게 상승하는 구간으로 타기 시작하여 전소되는 온도 패턴이다.

뉴턴의 냉각법칙에 따라서 화력의 크기에 따라 시간-열에너지 변화가 커지게 되고 연소기 불에 가까울수록  $\Delta T$  가 커지게 된다.

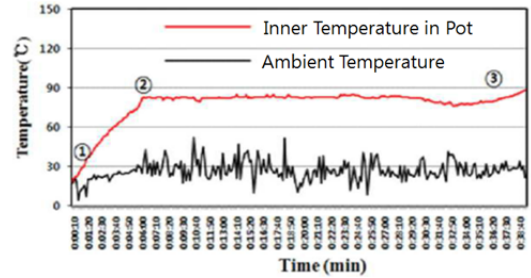


Fig. 3. Temperature variations for internal pot and the surrounding [6]

$$\frac{dQ}{dt} = h \cdot A (T_{env} - T(t)) = -h \cdot A \Delta T(t) \quad (1)$$

여기서  $Q$ 는 열에너지,  $h$ 는 열전달계수,  $A$ 는 열전달 대상의 면적,  $T_{env}$ 는 주변온도,  $T$ 는 열전달 대상의 표면온도를 의미한다.

이러한 결과는 연소기 주변 온도를 측정한 실험 결과에서도 유사하게 연소기와 가까울수록 온도변화가 크게 변화하여 편차가 증가되는 것을 확인 할 수 있었다 [7].

연소기에 대해 온도센서가 근거리인 경우는 연소기주변 온도변화에 직접적인 대류의 영향으로 이상온도 감지에 유리하지만 원거리의 경우는 급격히 타는 경우나 연소기 주변의 온도 변화 감지에 어려움이 있기 때문에 온도센서 설치 시 고려 할 필요가 있다.

연소기 사용시 항상 온도가 증가되면서 변화가 발생하게 되고 사고(과열, 화재 등)가 발생할 경우 이와 상이한 온도 증가 패턴 특성이 발생할 것이다. 이러한 특성을 이용하여 사고예측에 활용할 수 있다.

### 3.3. 온도 데이터 기반 사고예측 기법 개발

에너지 밀집지역에서 가스사용과 관련된 위험인자를 통계자료를 활용하여 검토한 결과 가스누출을 제외한 관련 사고 위험은 온도와 관련되었다. 이러한 사고위험을 예방하기 위해서 무선온도센서를 연소기 주위에 설치하여 온도데이터 변화 특성을 고려한 예측모델을 개발하여 활용하는 방안이다.

현장에서 계측된 온도변화데이터(기울기), 화재 위험 한계온도, 급격한 상승 온도 데이터 등을 고려하여 예측모델을 Fig. 4와 같은 알고리즘을 통해 개발할 수 있다.

IOT 센서의 데이터를 수집하는 에너지안전관리 통합 시스템(순서 1)에서 실시간으로 온도데이터를 모니터링(순서 2)하며 일정기간 동안은 참고 데이

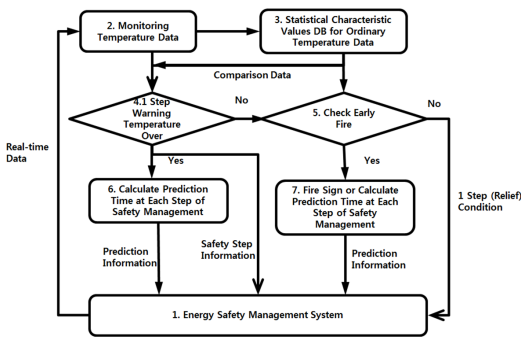


Fig. 4. Accident prediction algorithm based on temperature data

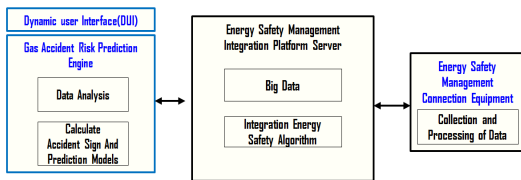


Fig. 5. Development of gas accident prediction module in integration platform

터로 평시온도데이터 통계특성 값으로 DB화(순서 3) 한다. 1차 경고온도(설정값 또는 평시 온도 통계 값)보다 크게 되면 한계 온도 도달 예측시간을 회귀분석을 통해 예측정보를 제공(순서 6)하고 작은 경우는 초기화재 발생 여부검토를 하게 된다(순서 4). 모니터링이 되고 있는 온도변화 패턴(변화기울기, 이동평균, 표준편차, 최대값 등)이 평상시 패턴과 상이할 경우 화재 징조 판단으로 하고 아닌 경우는 화재 안전상태라고 플랫폼 서버에 정보를 전달하는 알고리즘이다(순서 5와 7).

Table 2는 온도에 따른 안전관리 단계(안)으로 예방적 사고예방을 위해 4단계로 정의하였다. 이 단계는 일반적으로 사용되는 한계온도가 138 °를 참고하여 정의하였다. 사고가 발생하기 전에 안전단계를 안전관리자 또는 사용자에게 알릴 수 있도록 하였다.

1 단계에서 화재 예측 시 주의 단계의 조치를 하도록 하고 이후의 단계에 도달하는 예측시간 정보를 제공한다. 2단계와 3단계는 사용자 및 법정검사 안전관리자가 원인 확인을 하도록 하고 원인제거 및 처리를 한다. 예측이 가능한 경우에는 4단계의 도달시간을 제공한다. 4단계에서는 사용자 또는 법정검사 안전관리자가 초기 소화를 하고 소방서와

Table 2. Safe management steps according to temperature ranges

Division	Temperature	Safety action
1 step (Relief)	Under 50 °	Safety (no action)
2 step (Caution)	More than 50°~ Under 70°	Caution
3 step (Warning)	More than 70° ~ Under 100°	Warning
4 step (Danger)	More than 100°	Dispatch of fire station and rescue center

119를 호출하여 소화하도록 조치한다.

Fig. 5는 온도 기반의 사고예측 알고리즘을 모듈로 개발하여 에너지 융합형 안전관리 통합 플랫폼에 탑재 및 인터페이스 하는 것을 설명한다. 가스사고위험예측 엔진이라고 정의하였고 실시간으로 수집되는 온도 데이터에 대해서 통계 데이터 검토, 사고전조 판단 및 예측모델을 생성하게 된다. 센서의 오작동 방지를 위해서 데이터를 수집하는 접속장치와 안전관리 시스템에 센서의 오작동, 미작동, 고장, 센싱데이터 오류 등에 대해 처리하도록 알고리즘이 적용된다.

#### IV. 결론

많은 유동인구가 있고 가스·전기 설비가 동일 구내에 설치되어 사고 위험성이 큰 전통시장, 지하상가 등과 같은 에너지 사용 밀집지역은 사고를 예방하고 신속 대응하기 위한 방안이 필요하다. 이를 위해 주요 화재 원인인 전기적요인의 누설전류, 아크 등과 폭발사고 위험과 가스누출에 대한 사고예방을 할 수 있는 안전관리 플랫폼 개발을 수행해야 한다.

이 논문은 안전관리 플랫폼 개발 연구 중 가스사고와 관련된 화재위험인자를 고려한 사고예측에 대한 연구내용이다. 가스관련 화재사고 통계분석을 통해 관련 위험인자를 분석하여 가스연소기 주위의 온도센서 설치가 필요하다는 것을 알 수 있었다. 또한, 연소기 주위 온도 측정을 위한 설치 위치 검토를 하고 실제 온도 데이터의 변화 특성을 분석하여 사고예측 알고리즘을 개발하였다. 이 알고리즘이 반영된 모듈을 개발하여 에너지 안전관리 통합 플랫폼 서버에 탑재 및 인터페이스 개발을 하였다. 향

후에 실제 현장에 설치되어 실증연구를 수행하여 알고리즘을 개선 및 보완을 할 예정이다. 이를 통해 무선 온도센서를 연소기 주위에 설치하여 온도데이터 변화 특성을 고려하여 연소가 확대되기 전에 안전관리 플랫폼에서 경보, 대응 및 차단할 수 있다.

### 감사의 글

본 연구는 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No. 20152010500080)

### REFERENCES

- [1] Korea Gas Safety Corporation, "Gas Accident Year book" (2015).
- [2] Tan, Z.L. and Zhang, C.L, "Construction of the safety management system for urban underground business district with the application of IOT," Service Systems and Service Management (ICSSSM). Hong Kong, pp. 743-746 (2013).
- [3] Zhou, C.A., Chen, C., and Ren, H., "Comprehensive Evaluation on Multiple Constraint Elements of City Underground Space Development and Utilization Based on Analytic Hierarchy Process and Fuzzy Comprehensive Evaluation Method", Applied Mechanics and Materials. London, Vol. 357-360, pp. 2754-2758 (2013).
- [4] National Fire Agency, "National Fire Data System", www.nfds.org.kr, (2007-2015).
- [5] Korea Gas Safety Corporation, "Standard on Facilities · Technology · Inspection of the Liquefied Petroleum Gas Use Facilities for Containers" (2016).
- [6] B. J., Kwak, "Temperature sensing device to predict the signs and fire", Registration of a patent, 10-1627091 (2014).
- [7] Choi, Suel-Ki, Kim, Mi-Sung, Jo, Young-Do and Kim, Young-Gu, "A Study on Thermal Effects for Structure of Portable Butane Gas Stoves using Oversized Grill", KIGAS, 21(1), 87-93, (2017)