



## 복합 유해 가스 센서 기반의 조기 경보 시스템을 위한 재난 전조 감시 기준에 관한 연구

한규상 · 박소순\* · †윤인섭

서울대학교 화학생물공학부, \*국립재난안전연구원  
(2013년 2월 28일 접수, 2013년 4월 12일 수정, 2013년 4월 12일 채택)

## A Study on the Monitoring Criteria of Disaster Signs for Early-warning System based on Multiple Hazardous Gas Sensor

Kyusang Han · Sosoon Park\* · †En Sup Yoon

*School of Chemical and Biological Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea*

*\*National Disaster Management Institute, Seoul 121-719, Korea*

*(Received February 28, 2013; Revised April 12, 2013; Accepted April 12, 2013)*

### 요약

대도시 내에 밀집하여 증가하고 있는 대형 복합 건축물은 그 규모와 복잡성으로 인해 유해가스 관련 사고발생 시 대형 재난으로의 확대 가능성이 상존한다. 이에 대한 대응책으로, 다종의 유해가스를 감지하는 복합 가스 센서와 이로부터 수집한 정보를 활용한 조기 경보 시스템이 연구되고 있다. 이와 같은 센서 기반 재난 전조 감시 시스템의 효과적인 적용과 운영을 위해서는 적합한 기준이 먼저 마련되어야 한다. 본 연구에서는 유해가스의 감지와 조기 경보 발령을 위한 경보 기준 농도를 제시하고, 각 경보 단계별로 대응 활동과 정보 전파 등 재난 대응 체계를 제안하였다. 재난 감시 기준을 통해 유해가스 관련사고 발생 시 초기에 위험을 감지하여 사고의 경과에 따라 효과적인 대응을 이끌어 낼 수 있다.

**Abstract** - The number of large and complex buildings is growing and they are usually concentrated in metropolitan cities. There is a possibility in such buildings that a small accident can expand to a massive disaster since their scale and complexity. To deal with this issue, a research on gas sensors which can detect multiple gases and early-warning systems has been conducted. Proper criteria or standards are necessary for effective application and operation of such sensor-based disaster monitoring system. In this study, we have proposed the alarm criteria of concentration of hazardous gases for the detection and the alarm release. For each alarm level, systematic disaster response plans consist of responsive actions and information delivery have been prepared. These disaster monitoring criteria can help the detection of hazardous gas-related disaster in the early stage of accident and the provision of appropriate emergency responses.

**Key words** : disaster management, early-warning system, alarm criteria, response plan

†Corresponding author: esyoon@pslab.snu.ac.kr

## I. 서론

도시의 인구 집중에 따라 2000년대 들어 이미 서울 시내에 주상복합건물이 200곳 이상 건설되고[1] 초고층 건물과 지하 시설물이 연계되는 등, 건축물이 급격히 대형화, 복합화하고 있다. 이러한 대형 복합 건축물은 일반적으로 소형 또는 영세 시설에 비해 화재와 같은 재난에 대비하기 위한 시설 등이 잘 갖춰져 있으나, 그 규모와 복잡성으로 인해 작은 사고가 발생했을 때 대형 재난으로 확대될 가능성이 높다. 최근 10년간 발생한 화재 사고 중 대부분이 연소 속도가 매우 빠르거나 화재의 인지 또는 신고가 지연됐을 경우 연소 범위가 확대되는 결과를 초래했다(Fig. 1)[2]. 따라서 사고의 발생을 조기에 감지하여 신속하게 대응하는 것이 중요하다.

대형 복합 건축물에서 빈번하게 발생할 수 있는 인적재난의 유형은 화재와 폭발, 유해물질 유출 또는 누출이다. 이들 재난은 그 발생 원인이나 발생 초기 사고의 경과에 있어서 유해가스와 관련이 깊다. 따라서 건축물 내 공기 중의 유해가스를 매우 낮은 농도에서부터 감지 및 감시한다면 해당 재난의 발생 또는 확대를 예방할 수 있다.

유해가스의 감지를 위한 센서 기술은 화학 공장이나 유해물질을 다루는 사업장 등에서 소형 휴대용 센서로도 여러 종류의 가스를 감지할 수 있는 수준에 이르렀다. 그러나 주거 및 상업 용도의 시설 등에서는 연기나 열 감지기로 화재 발생을 감지하는 정도에 그치고 있어, 여러 종류의 유해가스가 발생할 수 있는 재난 상황에 효과적으로 대처하지 못하고 있다. 이와 관련하여 금속 산화물 나노튜브 등의 대량 생산을 통한 저가의 복합 가스 센서에 대한 연구가 이뤄지고 있다[3,4].

또한 센서로부터 수집된 정보를 이용해 사고의 발생과 경과를 조기에 판단하기 위한 조기 경보 시스템에 관한 연구도 다수 진행되고 있다. 화재 사고의 경우 실시간으로 온도를 감지하여 화재 발생 여부를 판단하는 알고리즘 등이 그것이다[5].

이 논문에서는 다종의 유해가스 감지를 위한 복합 가스 센서를 활용하여 재난의 전조를 감시하는 조기 경보 시스템을 구상하고, 이 시스템의 적용 및 운영을 위한 기준을 제시하기 위한 연구를 수행하였다.

본 연구의 내용은 크게 유해가스 경보의 기준과 경보 단계별 재난 대응 체계로 구성하였다. 경보 기준은 먼저 감지 대상 유해가스를 선정하고 이에 적합한 경보 발령 기준 농도를 제시하였다. 재난 대응 체계는 경보 단계, 재난 유형 등에 따른 핵심 활동과 정보 전달 범위를 제안하였다.

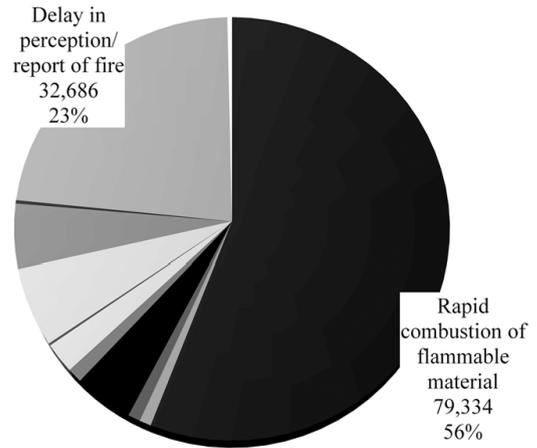


Fig. 1. Major causes of expansion of fire for non-residential buildings(2003-2012).

제시된 재난 감시 기준은, 도시 내 대형 복합 건축물의 센서 기반 재난 전조 감시 시스템에 활용하여 유해가스 관련 재난에 효과적으로 대비할 수 있는 기초가 될 수 있다.

## II. 센서 기반 재난 전조 감시 시스템

대형 복합 건축물에서 발생 가능한 유해가스 관련 재난의 전조를 감시하고 대응하기 위한 센서 기반 재난전조 감시 시스템은 Fig. 2와 같이 구성된다.

먼저 건물 곳곳에 설치된 복합 가스 센서가 유해가스의 발생과 그 농도를 감지한다. 수집된 정보는 유선 또는 무선으로 중계기를 통해 데이터베이스 서버로 전달된다. 서버는 실시간으로 전달되는 유해가스 감지 및 농도 정보를 저장하고, 보유한 데이터베이스와의 비교를 통해 경보 발령 여부를 결정한다. 이 때 활용하는 정보는 감지된 유해가스 농도의 위험도를 결정하는 경보 기준, 유해가스 발생 위치의 판별을 위한 건물 도면 정보 등이 있다. 미리 설정된 경보 기준 농도를 초과하는 경우 해당하는 단계의 경보를 발령하고 필요한 대응 활동을 지시하게 된다.

이러한 센서 기반 재난 전조 감시 시스템의 핵심 구성 요소는 유해가스의 발생을 조기에 감지할 수 있는 복합 가스 센서와 수집 정보를 분석하여 실시간으로 판단하는 조기 경보 시스템이다. 그러나 이들 센서와 경보 시스템이 효율적으로 작동하기 위해서는 적용 및 운영에 관한 기준이 필수적이다. 이를 위해 본 연구에서는 유해가스 경보 기준과 경보 단

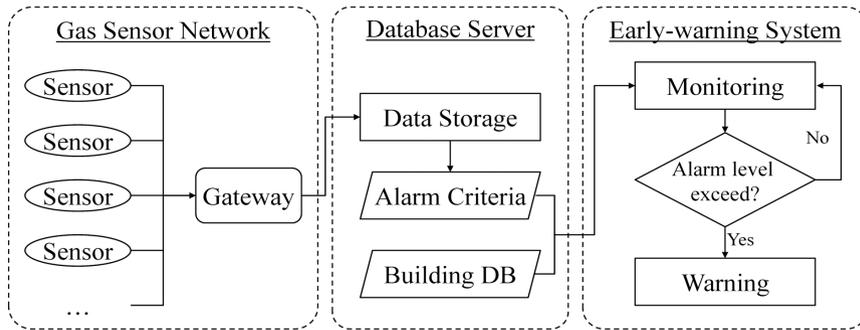


Fig. 2. Schematic diagram of sensor-based disaster monitoring system.

계에 따른 재난 대응 체계를 제시하였다.

### III. 유해가스 경보 기준

유해가스 경보 기준은 센서가 어떤 물질을 어떤 농도로 감지했을 때 시스템에서 경보를 발령할 것인지 결정하는 기준이다. 본 연구에서는 유해가스 관련사고 통계, 관련 규제 기준 및 기존 상용 센서의 현황을 분석하여 새롭게 개발될 센서 기반 재난 전조 감시 시스템에서 활용할 수 있도록 감지 대상 물질을 선정하고 경보 단계 및 경보 발령 기준 농도를 설정하였다. 단, 아래에서 순차적으로 설명하였으나, 관련 자료의 내용은 대상 가스 선정, 경보 단계 및 기준 설정 과정에서 모두 필요하므로 각 과정 간에 지속적인 피드백을 통해 동시에 진행하였다.

#### 3.1. 감지 대상 선정

먼저 MARS[6], RISCAD[7], CATS[8] 등 국내외 화학사고 정보시스템의 사고 사례들로부터 어떠한 유해가스가 어떠한 사고와 관련되어 있는지 파악하였다. 또한 최근 10년간 국내 비거주 건물에서 발생한 화재 통계[2]를 분석하여, 최초 착화물(Fig. 3) 및 발화 요인(Fig. 4) 등의 자료로부터 조기 감지가 필요한 물질을 추론하였다.

화재 통계로부터 알 수 있듯이, 연료나 기타 가연성 가스의 연소에 의한 사고보다는 다른 원인으로 시작된 화재에서 유해가스가 발생하는 경우가 많은 것으로 볼 수 있다. 따라서 감지 대상 가스의 범주는, 사고의 직접적 원인이 되는 유해가스가 아니라 화재 등의 사고 초기에 발생하는 유해가스와, 유출이나 누출로 인한 발생 자체가 유해한 가스 중 사고 빈도가 높은 것으로 정하였다.

화재 등으로 인해 발생하는 대표적인 유해가스는 연소산화물, 즉 CO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> 등이다. 이 가운데

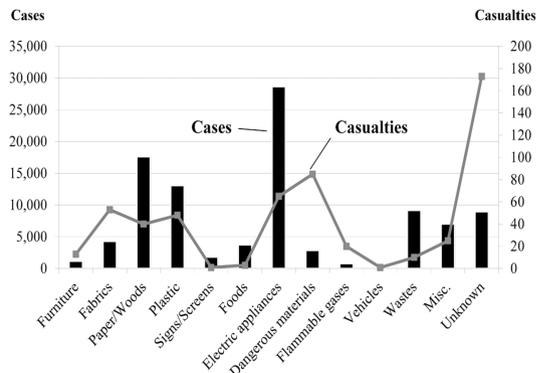


Fig. 3. Fire accident statistics: Initial material of fire (2003-2012).

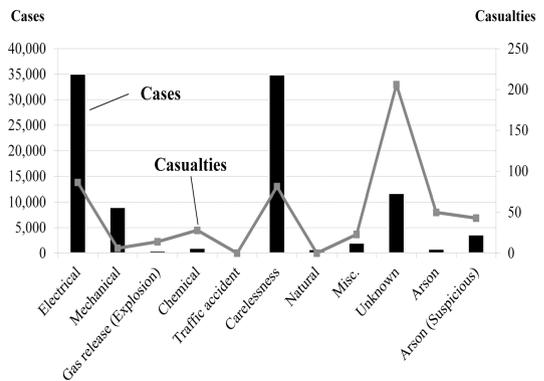


Fig. 4. Fire accident statistics: Cause of ignition (2003-2012).

CO<sub>2</sub>는 다른 가스에 비해 유해성을 띄는 농도가 월등히 높아 하나의 복합 가스 센서에서 감지하기에

무리가 있어 제외하였다. 질소산화물의 경우 그 상태가 불안정하여 상호 치환이 쉽게 일어나므로 여러 형태 중 비교적 위험성이 잘 알려진 NO<sub>2</sub>로 대표물질을 정했다. 황산화물은 다른 형태에 비해 발생 빈도가 높은 SO<sub>2</sub>를 택했다. 건축물 내/외장재의 특성에 따라 HCN의 발생 가능성이 높고 그 인체유해성도 매우 높으나[9], 복합 가스 센서의 개발을 위한 실험 가능성을 고려해 본 연구에서는 배제하였다. 연소가스 외에는, 건축물에서 냉매 등으로 사용되는 경우가 있는 NH<sub>3</sub>를 선택하였다.

### 3.2. 경보 단계 및 기준 농도 설정

유해가스의 위험성을 고려한 허용 농도에 관한 규제 기준은 국내외에 이미 다수 존재한다. Table 1은 세계 각국에서 작업자의 안전을 확보하기 위해 활용하고 있는 허용 농도 기준 중 일부이다[10]. 이들의 농도를 비교하면 Fig. 5와 같으며, 각 유해가스의 농도에 따른 인체 영향과 작업자 허용 농도 중 일부를 Table 2~5에 나타내었다. 대부분의 경우 하나의 물질마다 노출 시간에 기반을 두어 세 단계의

**Table 1.** List of some international occupational exposure limits (OELs) for chemicals

국가	허용 농도 기준/체계	제정/관리 기관
미국	Permissible Exposure Limit (PEL)	Occupational Safety and Health Agency (OSHA)
	Recommended Exposure Limit (REL)	National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH)
	Threshold Limit Value (TLV)	American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)
	Emergency Response Planning Guideline (ERPG)	American Industrial Hygiene Association (AIHA)
	Protective Action Criteria (PAC)	Department of Energy (DOE)
영국	Workplace Exposure Limit (WEL)	Health and Safety Executive (HSE)
일본	Occupational Exposure Limit (OEL)	Japan Society for Occupational Health (JSOH)
호주	Hazardous Substances Information System (HSIS)	National Occupational Health and Safety Commission (NOHSC)

**Table 2.** OELs and effects of CO

ppm	관련 기준 및 인체 영향
0.5-5	일반적인 대기중 농도
25	개인 CO 경보 기준
35	REL-TWA
50	PEL-TWA, TEEL-0
83	PAC-1,2
125	작업장 CO 경보 기준
200	PEL-STEL, REL-CLV, ERPG-1 / 가벼운 두통, 불쾌함
330	PAC-3
350	ERPG-2
400	TLV-STEL / 두통, 구토, 어지러움, 혼절
500	ERPG-3
1000	심장의 떨림, 비틀거림, 혼절, 구토
1200	REL-IDLH
1500	PEL-IDLH
2000	정신 혼동, 두통, 메스꺼움, 의식 불명
3200	의식 불명, 두통과 어지러움, 사망 위험

**Table 3.** OELs and effects of NO<sub>2</sub>

ppm	관련 기준 및 인체 영향
0.02-0.08	일반적인 대기중 농도
0.2-1	PEL-TWA
0.5	TEEL-0, PAC-1
1	REL-STEL, ERPG-1 / 두통, 어지러움, 불안정
3	TLV-TWA
5	PEL-STEL, TLV-STEL / 질식감, 메스꺼움
12	PAC-2
15	ERPG-2
20	PAC-3 / 1시간 이내 사망 가능성
30	ERPG-3
50	PEL-IDLH
100	흉부 압박감, 사망 가능성 (급성 기관지염)

**Table 4.** OELs and effects of SO<sub>2</sub>

ppm	관련 기준 및 인체 영향
<0.01	일반적인 대기중 농도
0.2	TEEL-0, PAC-1
0.3	ERPG-1 / 맛에 의한 감지
0.75	PAC-2
2	TLV-TWA / 냄새에 의한 감지
3	ERPG-2
5	PEL-TWA, TLV-STEL / 모세기관지 수축, 기관지 내 공기 흐름 방해
6	코와 기도 자극, 호흡량 감소
10	눈 및 호흡기에 심한 자극, 재채기, 기침, 기관지 경련
15	ERPG-3
30	PAC-3
50	심한 불쾌감, 외상은 없음
100	PEL-IDLH, REL-IDLH
400	폐와 성문에 부종, 사망 가능성
500	심한 불쾌감, 호흡시 고통
1000	호흡곤란으로 인한 사망

기준 농도를 갖는데, 1단계는 장시간 가중평균 (TWA, time-weighted average) 농도, 2단계는 단시간 노출 농도(STEL, short-term exposure limit), 3단계는 노출 즉시 위험 농도(CLV, ceiling limit value 또는 IDLH, immediately dangerous to life and health)가 그것이다.

국내에서는 산업안전보건법, 유해화학물질관리법 등에서 이와 유사한 허용 또는 배출 농도 기준을 정하고 있다. 또한 산업적 측면뿐만 아니라 환경적 측면에서의 유해가스 농도 기준도 대기환경보전법이나 미국 환경청(EPA)의 IAQ(indoor air quality) 등에 마련되어있다.

그러나 이들 대부분은 재난 예방 보다는 작업장 또는 대기 환경의 정상 상태 유지를 목적으로 하고 있어 재난전조 감시용으로 활용하기에는 무리가 있다. 따라서 이들 기준의 수치를 참고하되, 경보 단계 설정과 함께 기준 농도를 새롭게 제안하였다.

경보는 기본적으로 재난의 경과에 따른 효율적 대응을 유도할 수 있도록 다단계로 설정하였다. 우리나라의 경우 국가위기관리기본지침(대통령훈령

**Table 5.** OELs and effects of NH<sub>3</sub>

ppm	관련 기준 및 인체 영향
0.006-0.02	일반적인 공기 중의 농도
25 이하	눈과 호흡기의 경미한 자극
25	TLV-TWA, REL-TWA, ERPG-1 / 냄새에 의한감지한계, 눈과 점막 자극
30	PAC-1
35	TLV/STEL, REL-STEL
50	PEL-STEL / 눈꺼풀과 기도 자극, 결막염과 구토
100	기도 자극
150	ERPG-2 / 심한 자극, 사망 가능성
160	PAC-2
300	REL-IDLH
400	호흡기와 눈에 심각한 자극
500	PEL-IDLH
700	ERPG-3
1100	PAC-3
5000 이상	질식 또는 후두 경련으로 인한 즉사 가능

제229호)에서 각종 위기상황별 경보 단계를 ‘관심’, ‘주의’, ‘경계’ 및 ‘심각’의 4단계로 설정하고 대비하도록 하고 있다. 본 연구에서도 이를 활용하여 유해가스의 농도에 따라 4단계의 경보를 설정하였다.

먼저 ‘관심’ 단계는 정상상태와 유해가스 발생에 따른 비정상상태 구분을 위한 것이다. 정상적인 실내 공기 중에도 감지대상 가스 중 일부가 미량 포함될 수 있다. 그러나 그 정상 범위 중에서도 높은 수준에 이르게 되면 ‘관심’ 경보를 발령해 이상 여부를 확인할 수 있도록 유도한다. 예를 들어 일산화탄소는 정상적인 실내 공기 중에도 0.5~10ppm 존재할 수 있기 때문에, 10ppm 수준에서 ‘관심’ 경보를 발령할 수 있다.

‘주의’ 이상의 3단계는 유해가스의 노출 시간에 따른 위험성을 고려하여 설정하였다. 앞서 예로 든 유해가스 관련 기준들 중 다수가 채택한 노출 시간 기반의 3단계 기준을 활용하여, ‘주의’, ‘경계’ 및 ‘심각’ 단계에 각각 TWA, STEL, CLV (또는 IDLH) 기준을 기초로 경보단계를 구성했다.

이와 같이 설정된 경보 단계에 각 대상 가스별 농

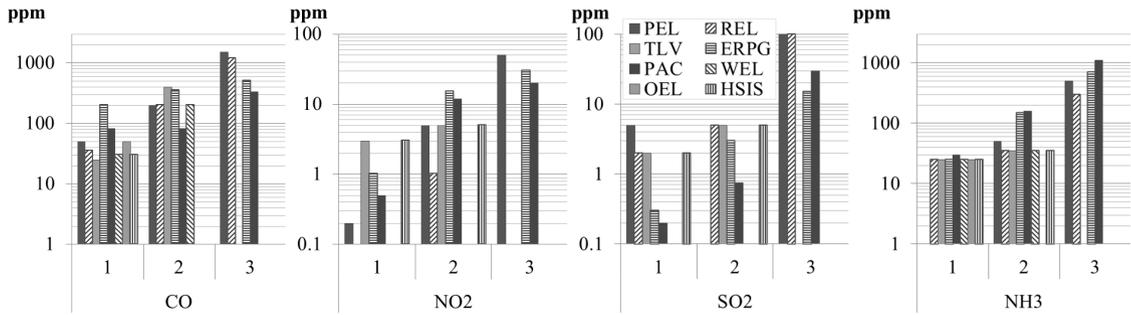


Fig. 5. Comparison of exposure limits with 3-step values.

Table 6. Proposed alarm criteria for selected hazardous gases (ppm)

	CO	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>
관심	5	1	1	1
주의	15	2	2	10
경계	100	3	5	20
심각	600	15	50	150

도를 설정하기 위해 관련 규제 기준 농도 외에 해당 가스의 발생 상황, 농도별 위험성 및 인체유해성 등을 분석하였다. 단, 확산을 고려했을 때 센서가 감지한 것보다 더 높은 농도의 유해가스가 실내에 존재할 수 있으므로 경보 기준 농도를 위험 농도의 50% 수준이 되도록 설정하였다. 단, 유해가스의 특성과 관련사고 빈도를 고려해 조정이 이루어졌다.

감지대상 가스 4종에 대해 최종적으로 제시한 경보 기준은 Table 6과 같다.

#### IV. 유해가스 경보 단계별 대응

##### 4.1. 재난 대응 체계

센서 기반 재난 전조 감시 시스템에서 감지된 재난의 발생에 효과적으로 대응하기 위해서는 적절한 체계가 마련되어야 한다. 재난의 유형에 대한 파악이 이루어지면, 경보를 통해 현재의 위험 수준을 판단해야 한다. 이로부터 대응의 주체와 대응활동 방안을 결정하게 된다.

이러한 과정에 필요한 고려 요소들을 Fig. 6에 도식화하였다. 대응 주체의 경우, 해당 건축물 및 재난 대응과 관계된 인원을 관리자, 이용자 및 관계기관

으로 구분하였다. 관리자는 평상시 재난 대비 계획을 총괄하고 시설의 유지보수 상태를 관리하며, 비상시에는 재난 대응 활동의 지휘 및 담당 시설의 제어 또는 차단, 그리고 초기 대응 활동을 담당한다. 이용자 중 상주 인원은 평상시 맡은 업무를 하다가 비상시에 대피를 하되, 방문객 등의 피난 활동을 일부 보조할 수 있다. 관계기관은 경보 발령 단계에 따라 출동하여 관리자 인원과 협력하여 재난 대응 활동을 펼쳐야 한다.

대응 활동은 크게 네 가지로 분류하였다. 경보상황이 아니거나 관심 단계의 경우 재난 대응 계획을 점검하고 관심 경보 감지 구역의 상황을 확인하여야 한다. 또한 관심 수준 이상의 위험이 감지되면 그 단계에 따라 방송 등을 통해 경보를 발령하고 안전관리자 등을 호출하거나 관계기관에 연락한다. 사고 경과에 따라 발생한 재난에 대한 대응 및 진압 활동과 인명 피난 활동이 필요함은 물론이다.

이와 같이 구성된 재난 대응의 요소들의 재난 발생 시 흐름도를 Fig. 7에 나타내었다. 재난 전조 감시 시스템에서 '관심' 단계 이상의 유해가스 농도가 감지되면, 1차적으로 사고 발생 여부를 판단한다. 실제 사고 발생 시, 차례로 사고의 유형, 대응 주체의 역할 및 현재 경보 단계에 따라 대응 활동을 수행하게 된다. 마지막으로 대응 활동 수행 후 잔존하는 위험을 판단하여, 경보 단계에 따른 추가 대응 활동 또는 감시 체계로 복귀가 이루어진다.

##### 4.2. 정보 전달 체계

재난 정보의 전달은 관련된 인명 모두에게 확실하고 명료하게 이루어져야 한다. 그런데 대형 복합 건축물과 같이 인명이 밀집한 곳에서 재난이 발생하고 이 정보가 동시에 건물 전체에 전달이 될 경우, 오히려 혼란이 가중되어 적절한 대응 활동이나 피난이 이루어지지 못할 수 있다. 따라서 위험 수준, 즉

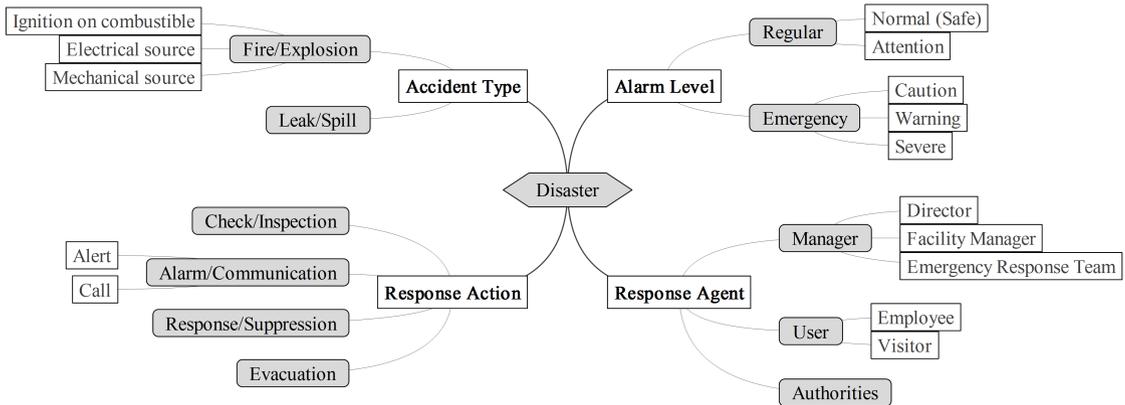


Fig. 6. Structure of emergency responses.

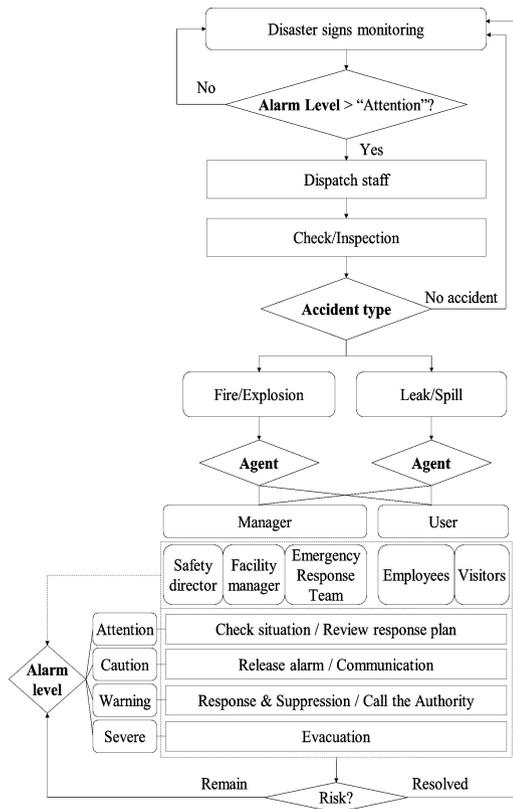


Fig. 7. Algorithm for responsive elements of disaster monitoring system.

경보 단계에 따라 정보를 통제하는 것이 효과적인 재난 대응을 위해 중요하다.

재난 상황에 대한 파악과 대응 계획 점검이 중요한 '관심' 단계에서는 재난 대응 및 피난 활동을 지휘, 수행할 수 있는 '관리자' 그룹에 먼저 정보를 전달한다. 이 때 비상연락망을 통하거나, 건물 내 방송에 압구호를 사용할 수 있다.

실제 사고의 발생이 확실한 '주의' 단계에서는 해당 구역의 '이용자'에게도 경보를 발령하여 대피할 수 있도록 하며, 자체적인 대응활동을 할 수 있다.

경보가 '경계' 또는 '심각' 단계에 이르면 건물 내 안전 관리자 인원으로는 대응하기 어려울 수 있으므로 소방서 등 관계기관에 협조요청이 이뤄져야 한다.

## V. 결론

늘어나고 있는 대형 복합 건축물에서 화재와 같은 유해가스 관련 인적 재난을 완전히 예방하는 것은 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 사고의 발생 초기에 위험을 감지하여 대형 재난으로의 확대를 방지하는 것을 목표로 하는 센서 기반 재난 전조 감시 시스템을 구상하고, 여기에 필요한 재난 감시 기준을 제시하였다. 복합 가스 센서와 조기 경보 시스템에서 활용할 수 있는 4단계의 경보 기준을 유해가스 4종에 대해 설정하고, 경보 단계에 따른 재난 대응 체계를 제안하였다. 제안된 기준과 체계를 활용한 센서 기반 재난 전조 감시 시스템이 대형 복합 건축물에 적용될 경우, 유해가스 관련 재난의 대형화를 예방하여 인명 피해와 재난 대응 비용을 절감하는 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 소방방재청이 출연하는 2012년도 인적

재난안전기술개발사업의 지원을 받아 수행되었습니다. 또한 서울대학교 자동화시스템공동연구소(ASRI)와 화학공정신기술연구소(ICP)의 지원에도 감사드립니다.

### 참고문헌

- [1] Jeong, E., "The Regionally Specific Residential Characteristics of 'Residential-Commercial Mixed Use Buildings' in Seoul", *Journal of the Korean Geographical Society*, 38(5), 741-753, (2003)
- [2] National Emergency Management Agency, "National Fire Data System", [www.nfds.go.kr](http://www.nfds.go.kr), (2013)
- [3] Kim, D., Kim, M., Shin, H., Lim, S.-H., "Ammonia Gas Sensor using Vertical TiO<sub>2</sub> Nanotube Array", *Proceedings of Korea MEMS Symposium*, 139-143, (2012)
- [4] Dattoli, E. N., Davydov, A. V., & Benkstein, K. D., "Tin oxide nanowire sensor with integrated temperature and gate control for multi-gas recognition", *Nanoscale*, 4(5), 1760-1769, (2012)
- [5] Kim, A.-R., Jo, K.-J., Chang, J.-W., Sim, C.-B., "Development of WSN(Wireless Sensor Network)-based Fire Monitoring Application System using Fire Detection Algorithm for Early Warning", *Journal of The Korea Contents Association*, 9(12), 504-514, (2009)
- [6] Major Accident Hazards Bureau, "Major Accident Reporting System (eMARS)", <http://emars.jrc.ec.europa.eu>, (2011)
- [7] Wada, Y., Nobe, J., Ogata, Y. and Miyake, A., "Relational Information System for Chemical Accidents Database (RISCAD) improved by addition of Thermal Hazard Data", *International Conference on the 20th Anniversary of the Bhopal Gas Tragedy*, (2004)
- [8] Jang, N., Han, K., Koo, J., Yoon, Y., Yong, J., Yoon, E. S., "Development of Chemical Accident Classification Codes and Tool for Management in Process Industries", *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 42(10), 742-751, (2009)
- [9] Cho, N.-W., Oh, E., Hwang, S.-K., "A Study on DNA Degeneration by Comet Assay & Pathological Observation for Mouse Which were Exposed HCN Gases from Fire", *Journal of the Korean Institute of Gas*, 16(6), 7-16, (2012)
- [10] International Labour Organization, "Chemical Exposure Limits", [www.ilo.org](http://www.ilo.org), (2011)