

## 부산 누출사고에 따른 지역사회 구성원들의 노출평가

김순신 · 우극현 · 윤성용 · 임현술\* · 김근배\*\* · 유승도\*\*  
· 조용성\*\*\* · 이석용\*\*\*\* · 이현수\*\*\*\* · 양원호\*\*\*\*†

순천향대학교 구미병원 유해가스노출 환경보건센터, \*동국대학교 의과대학 예방의학교실,  
\*\*국립환경과학원 환경보건연구과, \*\*\*화학물질안전원, \*\*\*\*대구가톨릭대학교 산업보건학과

### Exposure Assessment on Sub-Populations of the Local Community following a Hydrofluoric Acid Accident

Sunshin Kim, Kuck-Hyeun Woo, Seong-Yong Yoon, Hyun-Sul Lim\*, Seung-Do Yu\*\*,  
Geun-Bae Kim\*\*, Yong-Sung Cho\*\*\*, Seokyoung Lee\*\*\*\*, Hyunsu Lee\*\*\*\*, and Wonho Yang\*\*\*\*†  
*Environmental Health Center for Hazardous Gas Exposure, Gumi Hospital,  
Soonchunhyang University College of Medicine, Gumi, Korea*  
*\*Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Dongguk University, Gyeongju, Korea*  
*\*\*Environmental Health Division, National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea*  
*\*\*\*Research Development Education Division, National Institute of Chemical Safety, Daejeon, Korea*  
*\*\*\*\*Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu, Kyongsan, Korea*

#### ABSTRACT

**Objectives:** The purpose of this study was to propose an indirect exposure assessment method using a questionnaire survey at a time when direct exposure assessment would be impossible after a chemical accident.

**Methods:** About two weeks after an accident, a questionnaire survey was performed with 1,264 persons from the local community. Variables related to exposure were extracted from the survey contents, weighted and then graded for comparison with subjective symptoms in order to evaluate the extent of exposure. Survey items suitable for reflecting the previous exposure level during the accident were extracted, weighted and divided into quartile ranges. Subjective symptoms showed an increasing tendency with higher exposure level when compared with final exposure level ( $p < 0.01$ ).

**Results:** For the relationship between the final exposure grade and subjective symptoms, as the exposure grade was increasing the rates complaining of symptom also showed an increasing tendency. However, when adjusted for demographic characteristics, there was a tendency for the eye irritation symptom to appear higher in women, and respiratory organ irritation appeared higher in smokers.

**Conclusions:** When the problem of recall bias is considered, this study may not have completely unraveled exposure and the characteristics of the participants can affect subjective symptoms. Nevertheless, the exposure rating method of using a questionnaire showed a significant relationship with symptom level. It can be deemed that assessment of past exposure may be successfully evaluated by questionnaire in cases such as chemical accidents.

**Keywords:** Chemical accident, Gumi, hydrogen fluoride, exposure assessment

†Corresponding author: Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu, Daegu, 712-702, Korea, Tel: +82-53-850-3739, Fax: +82-53-850-3739, E-mail: whyang@cu.ac.kr

Received: 26 December 2014, Revised: 30 January 2015, Accepted: 12 February 2015

## I. 서 론

최근 우리나라에서 발생한 화학사고 중 가장 큰 규모의 화학물질 누출사고인 경북 구미시 불산 누출사고는 2012년 9월 27일 오후 3시 43분경 경상북도 구미시 국가산업4단지 소재 한 불산 제조업체에서 탱크로리로 운반된 100% 불화수소(무수불산) 용액을 공장 내부 저장탱크로 이송하는 과정에서 발생하였다. 탱크로리의 누출 밸브를 완전히 차단하기까지 약 8시간 동안 대략 8~12톤의 불화수소가 누출된 것으로 추정되며, 작업 중이던 근로자 및 협력사 직원 등 5명이 현장 또는 병원 이송 도중 사망하였다. 또한, 누출된 불산은 대기 중으로 확산되어 인근 지역사회 구성원들의 건강장해를 유발하였고(사망 5명, 검진 및 치료 12,243건(중복 검진 포함), 농작물(212 ha), 가축(3,944두), 차량(1,962대) 및 건물의 손상(148개사), 환경적 피해 등을 초래하였으며, 이로 인해 2012년 10월 8일 대통령령으로 사고 지역 인근 일부가 특별재난지역으로 선포되었다.<sup>1,2)</sup>

국의 유사 누출 사고 사례는 대표적으로 1987년 10월 30일 미국 Texas의 한 정유회사에서 발생한 불산 누출사고가 있다.<sup>3)</sup> 당시 누출량은 약 18톤 이상, 확산 범위는 거리상 최대 4.8 km, 폭상 최대 1.6 km 까지 확산된 것으로 보고되었으며, 사고 발생 후 약 20분 내에 반경 800 m 이내 주민 약 3,000여명이 대피하였고, 총 약 4,000여명이 48시간 동안 대피하였다. 누출 한 시간 후 바람이 불어오는 방향에서 측정된 불화수소의 농도는 약 10 ppm이었으며, 누출 다음날 반경 3.2 km 이내에서 식물 잎의 괴사, 차량 유리 손상, 페인트 칠의 손상 등이 발견되었다. 사고 발생 2년 후 고노출군에 대한 추적조사 결과 증상이 많이 호전되었지만, 호흡기 증상을 호소하는 사람이 약 20% 이었다. 당시 노출평가는(exposure assessment) 10,811명에 대해 다각도로 이루어졌으며, 나이, 성별 등을 고려하여 고 노출군, 중 노출군, 비 노출군을 추출하였다. 결과는 노출 당시와 사고 후 1개월 내와 2년 후에 보고된 호흡기계 증상 및 안구 관련 증상에서 강한 용량-반응(dose-response)관계를 나타내었다.<sup>4,5)</sup>

노출평가는 크게 직접적 및 간접적 방법으로 구분할 수 있으며, 유해인자의 발생원과 수용체간의 실

제 또는 잠재적 노출 정도를 평가하기 위한 중요한 분석적 도구이므로 건강 위해성평가와 역학연구에서 필수적이라 할 수 있다.<sup>6)</sup> 직접적인 방법으로는 생물학적 모니터링과 개인노출측정 방법이 있으며, 간접적인 방법은 대기 고정측정망이나 대기확산 모델을 이용하여 공기 중 오염물질의 농도를 예측하는 것을 말한다. 환경 노출이나 개인노출, 생물학적 모니터링 자료가 없거나 적용하기 곤란한 경우 설문지를 이용하여 노출을 평가할 수 있다. 노출평가에서는 기본적으로 직접적 방법이 간접적 방법보다 우선시 되지만, 이 두 가지 방법은 각각 장단점이 있으므로 상호보완적이어야 된다.<sup>7)</sup>

경북 구미시 H업체 불산 누출사고는 사고 당시 화학사고 대응체계 및 초동 조치 미흡으로 당시 환경측정 자료가 부족하고, 개인노출 측정은 불가능하여 직접적인 노출평가 방법을 적용하는 것은 불가능하였다. 본 연구에서는 화학물질 누출사고 후 직접적인 노출평가가 불가능한 시점에서 설문조사 자료를 이용한 간접적 노출평가 방법을 제시하고자 하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 설문 조사

사고 발생 약 2주 후인 2012년 10월 13일부터 2013년 10월 31일까지 약 19일간 인근 지역 주민, 인근 기업체 근로자, 인근 학교 학생 및 교직원 등 사고 인근 지역 거주자 1,264명을 대상으로 설문조사를 실시하였으며, 그 중 설문에 전혀 응답하지 않은 1명은 제외하였다.(Fig. 1).

연구에 사용된 설문지에는 인구학적 특성과 사고 발생 직후의 실내외 재실 여부 및 시간활동 관련,<sup>8-12)</sup> 대피와 복귀 여부, 대피와 복귀 시간,<sup>13-15)</sup> 주택 또는 직장 주변의 농작물 또는 건물의 부식 여부,<sup>4,5)</sup> 자가 노출 여부 및 노출 수준,<sup>16-18)</sup> 불산 노출로 인한 주요 건강영향인 목, 눈, 호흡기 자각증상 여부 및 수준 등 사고 당시 노출 수준을 파악하기에 적절한 내용들로 구성하였다.

### 2. 설문지를 이용한 노출평가

#### 1) 노출 수준 점수화 및 등급화

기준에 보고된 유사 화학사고 사례 또는 문헌 자



Fig. 1. Location of accident and sub-populations.

료를 참고하여 사고 당시 노출을 반영할 수 있는 변수들을 추출하였다. 추출된 변수는 사고 발생 후 대피 및 복귀 여부, 사고 후 4시간 및 복귀 후 16 시간 동안의 실내외 거주 시간, 집 주변 및 직장 주변의 식물 피사, 건물 부식 여부, 자각 노출 여부, 자각 노출 정도로 구성하였다. 당시 사고 충격과 사고 후 약 2주 이상 지난 시점에서 설문조사가 이루어져 회상 착오(recall bias)의 가능성을 고려하여 가능한 한 답변 형태가 단순한 문항들에 대해서만 각각 가중치를 부여하고 총 노출 점수를 산정하였다.

추출된 변수들에 대한 점수화 방법을 Table 1에 나타내었다. 사고 발생 후 대피 여부를 묻는 질문에 대피를 한 경우, 하지 않은 경우에 비해 상대적으로 저 노출 되었을 것으로 판단하여 가중치를 1점으로 부여하였고, 대피를 하지 않은 경우 가중치를 2점으로 부여하였다. 사고 다음날(9월 28일) 복귀 여부를 묻는 질문에 복귀를 한 경우 공기 중 불화수소의 체류시간 및 반감기를 고려하여 가중치를 2점으로 부여하였고, 복귀를 하지 않은 경우 가중치를 1점으로 부여하였다. 사고 직후 4시간 동안 및 복귀 후 16시간 동안의 실내외 거주 여부를 묻는 질문은 실내 거주자가 노출이 가장 적을 것이라 가정 하에 가중치를 실내 1점, 실내외 2점, 실외 3점으로 결정하였다. 사고 직후 4시간 동안은 15분 단위 4시간 중 실내, 실내외, 실외가 차지하는 비율과 가중치와의 곱으로

가중치를 부여하였으며, 4시간 동안 모두 실외에 거주하였다 하더라도 최대 가중치가 3점을 넘지 않도록 하였다. 복귀 후 16시간 동안의 실내외 거주 여부 또한 동일한 방법으로 가중치를 부여하였다. 주택 및 직장 주변 식물 피사, 건물 등의 부식을 목격한 경우 주택 및 직장까지 영향이 미쳤을 것으로 판단하여 가중치를 2점, 그렇지 않은 경우 가중치를 1점으로 부여하였다. 자각 노출 여부 및 수준은 피부에 접촉 또는 호흡기로 유입되었다고 응답한 경우 가중치를 2점, 그렇지 않다고 답한 경우 가중치를 1점으로 부여하였으며, 사고 발생 후 24시간 동안의 노출 정도를 묻는 질문에 ‘조금’으로 응답한 경우 가중치를 1점, ‘보통’은 2점, ‘많이’는 가중치를 3점으로 부여하였다.<sup>19)</sup> 모든 문항에 부여한 가중치는 점수가 낮은 문항과 점수가 큰 문항과의 차이를 고려하여 최대 점수가 3점을 초과하지 않도록 하였다. 각 문항들의 가중치를 총 합산하여 노출 수준을 점수화하고 이 점수를 4분위(percentile)로 구분하여 노출 등급을 결정하였다.<sup>20)</sup>

2) 자각 증상수준과의 비교 및 평가

증상등급 및 증상 여부, 증상의 정도 평가에는 사고 발생 후 발현된 자각 증상으로 평가하였다. 의사 검진 증상은 조사 시기가 사고 발생 후 약 2주가 지나 이루어졌으므로 증상이 호전되었을 가능성이 있고, 의료지원 등으로 인해 검진 의료진의 일

**Table 1.** Relative weighting of factors on overall exposure

Factor	Relative weight	References
Evacuation	No	2
	Yes	1
Return to home for resident or workplace for worker	No	1
	Yes	2
Awareness of subjective exposure	No	1
	Yes	2
Awareness level of subjective exposure	Extremely	-
	Low	1
	Medium	2
	High	3
Retention time of indoor or outdoor (September, 27)	In	1
	PM 4~8	I/O
	Out	3
Retention time of indoor or outdoor (September, 28)	In	1
	AM 8~ PM 12	I/O
	Out	3
Observation of leaf withering near the house	No	1
	Yes	2
Observation of leaf withering near the workplace	No	1
	Yes	2

관성이 다소 떨어질 것으로 판단하여 당시 대상자가 느꼈던 자각증상 자료가 노출 정도 및 여부를 반영할 수 있는 참값(true value)으로 가정하였다.<sup>2)</sup> 불산 노출로 인한 대표적인 건강영향인 목 자극 증상, 눈 자극 증상, 호흡기 증상을 각각 증상 수준별(없음, 약함, 보통, 강함) 응답을 증상 유무(있음, 없음)로 재입력하여 노출 등급과의 관련성을 평가하였다.

**3. 통계 분석**

연구 결과 분석의 모든 통계적 검정은 SPSS ver. 19(IBM Co., USA)를 사용하였다. 대상자의 인구학적 특성 및 노출 특성 분석에는 빈도분석과 기술통계분석을 사용하였다. 결정된 노출등급과 자각증상 여부와의 비교 및 평가에는 로지스틱 회귀분석(logistic regression)을 실시하여 승산비(odds ratio)에 대한 유

**Table 2.** Sociodemographic characteristics of participants in this survey

Parameter	N (Total=1,263)	%	Response rate (%)	
Population	Resident	122	9.7	100
	Worker	832	65.7	
	Student and teaching staff	309	24.6	
Gender	Female	465	36.8	100
	Male	798	63.2	
Age	09	4	0.3	83.8
	1019	108	8.6	
	2029	198	15.7	
	3039	300	23.8	
	4049	259	20.5	
	5059	113	8.9	
	6069	32	2.5	
7079	32	2.5		
8089	12	1.0		

의수준이 0.05 미만일 경우(p<0.05) 유의하다고 판단하였다. 자료의 정리 및 도표 작성에는 MS Office 2010(Microsoft, USA)를 사용하였다.

**III. 연구 결과**

**1. 설문조사**

연구 대상자의 인구학적 특성을 Table 2에 나타내었다. 인구집단은 인근 지역 주민이 122명(9.7%), 인근 기업체 근로자가 832명(65.7%), 인근 학교 학생 및 교직원이 309명(24.6%)이었으며 설문 응답률은 100%이었다. 성별은 남성이 798명(63.2%)으로 여성보다 많았다. 연령대는 30~49세가 가장 많았고, 주로 10~59세에 많이 분포하고 있었으며, 설문 응답률은 83.8%이었다.

Table 3는 대상자의 노출 관련 특성을 나타낸 표이다. 사고 직후 대피를 하지 않은 응답자가 679명(53.8%)으로 대피자 보다 많았고, 다음 날 복귀를 한 응답자는 641명(50.8%)으로 전체 응답자 819명(64.8%) 중 대다수가 다음날 복귀하였다. 대피 시간대는 응답자의 과반수가 사고 후 2시간 이내에 대피하였고 복귀 시간대는 10시 이전에 대다수의 응답자가 거주지 및 직장으로 복귀하였다. 집 주변의

**Table 3.** Characteristics of participants in relation to exposure

Parameter		N (Total =1,263)	%	Response rate (%)
Evacuation	No	679	53.8	93.8
	Yes	506	40.1	
Return to home for resident or workplace for worker	No	178	14.1	64.8
	Yes	641	50.8	
Time of evacuation	16:00~16:59	62	4.9	31.4
	17:00~17:59	186	14.7	
	18:00~18:59	63	5.0	
	19:00~19:59	32	2.5	
	20:00~20:59	33	2.6	
	21:00~21:59	12	1.0	
	22:00~22:59	8	0.6	
Time of return	04:00~05:59	4	0.3	40.6
	06:00~07:59	105	8.3	
	08:00~09:59	299	23.7	
	10:00~11:59	40	3.2	
	12:00~13:59	12	1.0	
	14:00~15:59	29	2.3	
	16:00~17:59	5	0.4	
	18:00~19:59	4	0.3	
	20:00~21:59	9	0.7	
	22:00~23:59	6	0.5	
Observation of leaf withering near the house	No	1033	81.8	98.3
	Yes	209	16.5	
Observation of leaf withering near the workplace	No	60	4.8	66.7
	Yes	782	61.9	
Awareness of subjective exposure	No	234	18.5	97.9
	Yes	1002	79.3	
Awareness level of subjective	Non	103	8.2	92.8
	Low	603	47.7	
	Medium	281	22.2	
	High	185	14.6	

식물 피사 또는 차량, 건물 등의 부식 목격 여부를 묻는 질문에 목격하지 않은 응답자가 1033명(81.8%) 이었고, 직장 주변의 식물 피사 또는 차량, 건물 등의 부식을 목격한 응답자는 782명(61.9%)이었다. 복귀 시간대, 집 주변 및 직장 주변의 식물 피사 또는

**Table 4.** Symptoms of participants by exposure to Hydrofluoric Acid

Parameter		N (Total=1,263)	%	Response rate (%)
Throat irritation	None	470	37.2	99.5
	Light	459	36.3	
	Moderate	214	16.9	
	Heavy	114	9.0	
Eye irritation	None	491	38.9	99.4
	Light	438	34.7	
	Moderate	199	15.8	
Respiratory organ irritation	None	128	10.1	99.6
	Light	474	37.5	
	Moderate	476	37.7	
	Heavy	192	15.2	
		116	9.2	

차량, 건물 등의 부식 여부를 묻는 질문은 이 연구의 대상자 중 인근 기업체 근로자 수의 영향인 것으로 판단된다. 주관적인 노출 여부를 묻는 질문에 1002명(79.3%)이 노출되었다고 응답하였으며, 그 정도를 묻는 질문에 저 노출이 603명(47.7%)으로 가장 많았고, 다음으로 중 노출, 고 노출 순으로 감소하는 경향을 나타내었다.

불산 누출로 인한 대표적 건강영향인 목, 눈, 호흡기 증상에 대한 연구 대상자의 증상 관련 특성을 Table 4에 나타내었다. 3가지 증상 모두 대략적인 범위 내에서 비슷한 호소율과 응답률을 나타내었으며, 노출 관련 문항 중 주관적 노출 정도와 유사하게 약한 증상을 호소한 응답자가 가장 많았고, 증상이 심할수록 갈수록 감소하는 경향을 나타내었다.

**2. 설문지를 이용한 노출평가**

1) 노출 수준 점수화 및 등급화

사고 발생 후 대피 및 복귀 여부, 사고 후 4시간 및 복귀 후 16시간 동안의 실내외 거주 시간, 집 주변 및 직장 주변의 식물 피사, 건물 부식 여부, 자각 노출 여부, 자각 노출 정도 등으로 구성된 문항들에 모두 응답한 대상자 530명을 추출하여 각각 가중치를 부여하고 노출수준 총 점수를 산정하였다. 총 점수를 4등급(percentile)으로 구분하였으며, 25 percentile 이하는 극 저 노출(extremely low exposure

**Table 5.** Classification of exposure grade by weighting methods according to questionnaire survey

Exposure level	Classification standard	N	%
Extremely low exposure level	≤ 25	141	26.6
Low exposure level	25~50	137	25.8
Medium exposure level	50~75	119	22.5
High exposure level	≥ 75	133	25.1
Total		530	100

level), 25~50 percentile은 저 노출(low exposure level), 50~75 percentile은 중 노출(medium exposure level), 75 percentile 이상은 고 노출(high exposure level)로 구분하였다. 최종 노출등급을 결정한 결과 극 저 노출은 141명(26.6%), 저 노출은 137명(25.8%), 중 노출은 119명(22.5%), 고 노출은 133명(25.1%)이었다(Table 5).

Table 6는 자각 증상 수준을 증상 유무로 재입력한 결과이다. 증상의 유무는 증상 정도 문항에서 ‘증상 무’ 응답은 동일하게 입력하였고, ‘약함’, ‘보통’, ‘심함’ 중 하나라도 해당될 경우 ‘증상 유’로 재입력하였다. 재입력 결과 목 증상을 경험한 사람은 전체 530명의 대상자 중 367명(69.2%)이었고, 눈 증상은 348명(65.7%), 호흡기계 증상은 352명(66.4%)으로 목 자극 증상을 경험한 대상자가 가장 많았으나 3가지 증상 모두 대략적으로 비슷한 증상 호소율을 나타내었다.

**Table 6.** Health effects by subjective symptoms

Parameter	N (Total=530)		%		
	No	Yes	No	Yes	
Throat irritation	None	163	163	30.8	
	Light	211	39.8		
	Moderate	101	367	19.1	69.2
	Heavy	55	10.4		
Eye irritation	None	182	182	34.3	34.3
	Light	184	34.7		
	Moderate	94	348	17.7	65.7
	Heavy	70	13.2		
Respiratory organ	None	178	178	33.6	33.6
	Light	213	40.2		
	Moderate	82	352	15.5	66.4
	Heavy	57	10.8		

## 2) 노출 등급과 자각증상과의 비교 및 평가

Table 7은 4등급으로 구분된 노출 등급에 따른 목 증상 유무와의 교차비를 나타낸 결과이다. 극 저 노출을 기준으로 노출 등급이 1등급씩 증가할수록 목 증상 호소율이 유의하게 증가하는 양상을 보였으며, 노출 등급이 높아질수록 그 정도 또한 증가하는 것으로 나타났다. 성별, 연령, 흡연, 음주 등 인구학적 변수를 보정할 경우 보정하지 않았을 때 보다 더욱 유의한 결과를 나타내었다.

Table 8은 4등급으로 구분된 노출 등급에 따른 눈 증상 유무와의 교차비를 나타낸 결과이다. 극 저 노출을 기준으로 노출 등급이 1등급씩 증가할수록 눈

**Table 7.** Crude odds ratio(OR) and adjusted odds ratio(aOR) for throat irritation according to the quartile of the overall exposure level.

Parameter	Model 1			Model 2		
	OR	95% CI	P-value	OR	95% CI	P-value
Extremely low exposure level	-	-	-	-	-	-
Low exposure level	2.030	1.234-3.339	0.005	2.166	1.303-3.600	0.003
Medium exposure level	2.196	1.300-3.708	0.003	2.391	1.390-4.111	0.002
High exposure level	2.897	1.707-4.915	0.000	3.314	1.905-5.764	0.000
Gender				0.677	0.409-1.122	0.130
Age				0.996	0.975-0.017	0.691
Smoking				1.095	0.720-1.667	0.670
Drinking				0.819	0.532-1.259	0.363

Note. Model 1 not adjusted (crude)  
Model 2 adjusted for demographic variables

**Table 8.** Crude odds ratio(OR) and adjusted odds ratio(aOR) for eyes irritation according to the quartile of the overall exposure level.

Parameter	Model 1			Model 2		
	OR	95% CI	P-value	OR	95% CI	P-value
Extremely Low Exposure level	-	-	-	-	-	-
Low Exposure level	1.022	0.634-1.645	0.930	1.073	0.653-1.762	0.782
Medium Exposure level	1.729	1.033-2.893	0.037	1.945	1.134-3.336	0.016
High Exposure level	2.944	1.718-5.048	0.000	3.272	1.856-5.769	0.000
Gender				0.357	0.211-0.606	0.000
Age				1.016	0.995-1.038	0.139
Smoking				1.105	0.731-1.671	0.635
Drinking				1.105	0.725-1.686	0.641

Note. Model 1 was not adjusted (crude)  
 Model 2 adjusted for demographic variables

**Table 9.** Crude odds ratio(OR) and adjusted odds ratio(aOR) for Respiratory organ irritation according to the quartile of the overall exposure level

Parameter	Model 1			Model 2		
	OR	95% CI	P-value	OR	95% CI	P-value
Extremely low exposure level	-	-	-	-	-	-
Low exposure level	1.442	0.893-2.329	0.134	1.503	0.914-2.469	0.108
Medium exposure level	1.754	1.058-2.910	0.029	1.734	1.020-2.948	0.042
High exposure level	4.090	2.341-7.148	0.000	4.790	2.645-8.677	0.000
Gender				0.725	0.444-1.184	0.199
Age				0.980	0.959-1.001	0.064
Smoking				1.939	1.269-2.962	0.002
Drinking				0.812	0.530-1.245	0.340

Note. Model 1 was not adjusted (crude)  
 Model 2 adjusted for demographic variables

증상의 호소율 또한 유의하게 증가하는 양상을 보였으나 저 노출 등급은 통계적으로 유의하게 증가하지 않았다. 목 증상과 유사하게 노출 등급이 높아질수록 그 정도 또한 증가하는 것으로 나타났으며, 성별, 연령, 흡연, 음주 등 인구학적 변수를 보정할 경우 보정하지 않았을 때 보다 더욱 유의한 결과를 나타내었으나, 여성일수록 증상 호소율이 증가하는 양상을 보였다.

Table 9는 4등급으로 구분된 노출 등급에 따른 호흡기 증상 유무와의 교차비를 나타낸 결과이다. 극 저 노출을 기준으로 노출 등급이 1등급씩 증가할수록 호흡기 증상의 호소율 또한 유의하게 증가하는 양상을 보였으나 저 노출 등급은 눈 증상과

유사하게 통계적으로 유의하게 증가하지 않았다. 목, 눈 증상과 유사하게 노출 등급이 높아질수록 그 정도 또한 증가하는 것으로 나타났다. 성별, 연령, 흡연, 음주 등 인구학적 변수를 보정할 경우 보정하지 않았을 때 보다 더욱 유의한 결과를 나타내었으나, 흡연자일수록 증상 호소율이 증가하는 양상을 보였다.

전체적으로 3가지 증상 모두 노출 등급이 증가함에 따라 증상 호소율 또한 증가하는 양상을 나타내었다. 그러나 눈, 호흡기 증상의 경우 저 노출 등급에서는 통계적으로 유의하지 않았으며, 성별과 흡연 여부에 따라 증상 호소율이 증가하는 양상을 나타내었다.

#### IV. 고 찰

설문조사 결과 17시 08분 지자체에서 가장 처음으로 4단지 내 214개 사에 문자 메시지로 대피 요망을 통보하였고, 이 시간대는 대피자가 가장 많은 시간대와 일치하는 양상을 보였다. 시간이 지체될수록 대피자의 수는 감소하는 경향을 나타내었다. 사고 발생 후 약 3시간 이내에 많은 수의 인원이 대피하였을 것으로 추측되며, 늦은 시간에 대피한 인원은 인근 기업체 근로자일 것으로 생각된다. 복귀 시간대는 다음날 03시 32분경 지자체의 상황해제 및 정상 조업 문자 메시지 발송으로 인해 정상 조업을 시행한 인근 기업체의 영향으로 추측된다. 인근 기업체 근로자의 경우 지자체의 늦은 대피 통보의 영향도 있지만 자의적이지 못한 대피로 인해 다른 인구집단보다 상대적으로 고 노출 되었을 가능성이 있다. 대피 시간대로 볼 때 2차 대피 통보가 이루어진 시간 이후에도 소수의 인원이지만 지속적으로 대피한 인원들은 인근 기업체 근로자일 것으로 추측된다. 복귀 시간대의 경우에도 응답자의 상당수가 사고 다음날 일반적인 출근 시간대에 복귀하였다.

기본적으로 근로자는 건강한 근로자(healthy worker)에 기인하고 있으며, 다른 인구집단 보다는 상대적으로 건강상태가 좋고, 남성이 대다수이며, 주로 젊은 연령층임을 고려해 볼 때 노출에 비해 증상 호소율이 낮아 증상 수준이 다소 과소평가 되었을 가능성이 있다. 그러나 Texas 불산 누출사고 사례의 경우에는 증상이 2년 이상 지속되는 사례가 상당수 있었다.<sup>4,5)</sup> 그러므로 건강한 근로자라 할지라도 근로자 인구집단은 당시 사고 장소와 인접하게 위치하고 있었고, 오랜 시간 지속적인 노출로 인해 고 노출되었을 가능성이 있다. 따라서 이러한 인구집단일수록 더욱 더 지속적이고 체계적인 관리가 필요할 것으로 판단된다.

설문 문항에 가중치를 부여하여 4등급(percentiles)으로 구분한 노출 등급과 증상 유무와의 비교 및 평가에서는 전체적으로 노출 등급이 증가할수록 증상 호소율 또한 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 인구학적 특성을 보정하였을 경우 눈 자극 증상은 여성일수록 증상 호소율이 높게 나타나는 경향이 있었고, 호흡기 자극 증상은 흡연자일수록 높게 나타나

는 경향을 나타내었다. 흡연자의 경우 흡연으로 인한 상가작용 또는 상승작용으로 인해 호흡기 자극 증상이 높게 나왔을 것으로 판단된다.

이 연구뿐만 아니라 설문지를 이용한 간접적 노출 평가 방법은 사고 당시의 충격, 회상 착오 또는 심리적인 영향 등으로 인해 다소 불확실 할 수 있으며, 증상 유무를 참값으로 가정할 경우 발견된 증상의 수가 많을수록 고 노출 되었을 가능성이 있다. 그러나 이 연구는 당시 환경 또는 개인노출 평가가 불가능하며, 사고 후 일정 시간이 지난 시점에서 과거 노출(past exposure)을 평가한 하나의 사례연구라 할 수 있다. 미국의 텍사스 불산 누출 사고 사례에서도 심리적인 불안감 또는 충격을 크게 느끼는 사람일수록 증상이 장기적으로 지속되고, 그 정도 또한 심한 것으로 보고하였다.<sup>3,5)</sup> 따라서 이러한 화학 사고 발생에 따른 노출평가 시 당시의 노출을 반영할 수 있는 설문 문항뿐만 아니라 개인적, 심리적인 등 복합적이고 다각적인 측면에서 접근해야 될 것으로 판단된다.

#### V. 결 론

최근 우리나라에서 발생한 화학물질 누출 사고 중 가장 큰 규모라 할 수 있는 H업체 불산 누출사고 사례를 바탕으로 당시 환경 측정 자료의 부족 및 개인노출 자료의 전무함 등으로 인해 사고 당시 인근 지역사회 구성원들의 노출 수준을 파악할 수 있는 자료나 도구가 부족한 상황에서 설문 자료를 이용하여 사고 당시 노출에 대한 간접적인 평가를 수행하였다.

설문조사 결과 인구집단은 인근 지역 주민이 122명(9.7%), 인근 기업체 근로자가 832명(65.7%), 인근 학교 학생 및 교직원이 309명(24.6%)이었다. 성별은 남성이 798명(63.2%)으로 여성보다 많았다. 연령대는 30~49세가 가장 많았고, 주로 10~59세에 많이 분포하고 있었다. 설문지를 이용한 노출 등급 선정 결과 극 저 노출(노출 1등급)은 141명(26.6%), 저 노출(노출 2등급)은 137명(25.8%), 중 노출(노출 3등급)은 119명(22.5%), 고 노출(노출 4등급)은 133명(25.1%) 이었다. 불산 노출에 따른 목 자극 증상을 경험한 사람은 전체 대상자 530명 중 367명(69.2%) 이었고, 눈 자극 증상은 348명(65.7%), 호



흡기 자극 증상은 352명(66.4%)으로 목 자극 증상을 경험한 대상자가 가장 많았으나 대략적으로 비슷한 증상 호소율을 나타내었다.

4등급으로 구분된 노출 등급에 따른 목, 눈, 호흡기 자극 증상 유무와의 교차비를 분석한 결과에서 극 저 노출을 기준으로 노출 등급이 1등급씩 증가할수록 3가지 증상 모두 증상의 호소율이 유의하게 증가하는 양상을 보였으나 눈과 호흡기 증상에서 저 노출 등급은 통계적으로 유의하게 증가하지 않았다. 성별, 연령, 흡연, 음주 등 인구학적 변수를 보정할 경우 보정하지 않았을 때 보다 더욱 유의한 결과를 나타내었으나, 눈 자극 증상은 여성일수록 증상 호소율이 증가하는 양상을 보였으며, 호흡기 자극 증상은 흡연하는 사람일수록 증상 호소율이 증가하는 양상을 나타내었다.

### References

1. Gumi City. Gumi City, Report of explosion accident in HUBE Global Inc. Gumi: Gumi City Press; 2012.
2. Yang WH. Case study of Gumi chemical accident and future study. Seoul: Symposium in Chemical Safety Press; 2014.
3. Wing JS, Brender JD, Sanderson LM, Perrota DM, Beauchamp R. Acute health effects in a community after a release of hydrofluoric acid. *Arch Environ Health*. 1991; 46(3): 155-160.
4. Dayal HH, Brodwick M, Morris R, Baranowski T, Trieff N, Harrison JA, et al. A community based epidemiologic study of health sequelae of exposure to hydrofluoric acid. *Ann Epidemiol*. 1992; 2(3): 213-230.
5. Dayal HH, Baranowski T, Li YH, Morris R. Hazardous chemicals: psychological dimensions of the health sequelae of a community exposure in Texas. *J Epidemiol Community Health*. 1994; 48(6): 560-568.
6. Nieuwenhuijsen M, Paustenbach D, Duarte-Davidson R. New developments in exposure assessment: the impact on the practice of health risk assessment and epidemiology studies. *Environ Int*. 2006; 32(8): 996-1009.
7. Manini P, Palma GD, Mutti A. Exposure assessment at the workplace: implications of biological variability. *Toxicol Lett*. 2007; 168(3): 210-218.
8. National Institute for Chemical Studies (NICS). Effectiveness of shelter-in-place: examples from across the country. Kanawha: NICS Press; 1961, 1976, 1977, 1986, 1987, 1991. 304-6264.
9. Levenson M, Rahn FJ. Is evacuation the best policy?. *Science*. 1980; 208(4440): 131-132.
10. World Health Organization. Guideline for air quality, World Health Organization document. Geneva: WHO Press; 2000.
11. Liu W, Zhang J, Korn LR, Zhang L, Weisel CP, Turpin B, et al. Predicting personal exposure to airborne carbonyls using residential measurements and time/activity data. *Atmos Environ*. 2007; 41(25): 5280-5288.
12. Sexon K, Mongin SJ, Adgate JL, Pratt GC, Ramachandran G, Stock TH, et al. Estimating volatile organic compound concentration in selected microenvironments using time-activity and personal exposure data. *J Toxicol Environ Health A*. 2007; 70(5): 465-467.
13. National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme (NICNAS). Hydrofluoric acid (HF), priority existing chemical assessment report. Sydney: NICNAS Press; 2001.
14. Fluorides, Environmental Health Criteria. Geneva: WHO Press; 2002. p.227.
15. Canadian Transport Emergency Centre (CANUTEC). Emergency response guidebook. Canada: CANUTEC Press; 2012.
16. Forsberg B, Stjernberg N, Wall S. People can detect poor air quality well below guideline concentrations: a prevalence study of annoyance reactions and air pollution from traffic. *Occup Environ Med*. 1997; 54(1): 44-48.
17. Hoppe P, Martinac I. Indoor climate and air quality. *Int J Biometeorol*. 1998; 42: 1-7.
18. Klæboe R, Kolbenstvedt M, Clench-Aas J, Bartonova A. Oslo traffic study-part 1: an integrated approach to assess the combined effects of noise and air pollution on annoyance. *Atmos Environ*. 2000; 34(27): 4727-4736.
19. American Industrial Hygiene Association. Guideline on occupational exposure reconstruction. VA: AIHA Press; 2008.
20. Daval B, Christopher JL, Samson L, Mark S, Michael F, Peter WJ, et al. Prostate cancer risk and exposure to ultraviolet radiation: further support for the protective effect of sunlight. *Cancer Letters*. 2003; 192(31): 145-149.
21. National Institute of Environmental Research. Emergency Response Guidebook. Incheon: NIER Press; 2012.

22. Lee KM, Sun JB, Park DU, Lee WJ. Methods to minimize or adjust for healthy worker effect in occupational epidemiology. *J Environ Health Sci.* 2011; 37(5): 342-347.