






## 화학사고 후 주민복귀 및 피해복구 시점 결정을 위한 인체지표 개발

양준용\*  · 허정무\*  · 이현석\*  · 이준상\*  · 조용성\*\* · 김호현\*\*\*  · 박상희\*<sup>†</sup> 

\*(주)캡토피아, \*\*환경부 화학물질안전원 사고총괄훈련과,

\*\*\*평택대학교 ICT융합학부 ICT환경융합전공

### Development of Human Indices to Determine Both Returning Point of Residents and Damage Restoration after the Chemical Accident

JunYong Yang\*, JeongMoo Heo\*, HyunSeok Lee\*, JunSang Lee\*,  
YongSung Cho\*\*, HoHyun Kim\*\*\*, and SangHee Park\*<sup>†</sup>

\*Chemtopia Co., Ltd.

\*\*Accident Coordination and Training Division, Ministry of Environment National Institute of Chemical Safety

\*\*\*Department of Information, Communication and Technology Convergence, ICT Environment Convergence,  
Pyeongtaek University

#### ABSTRACT

**Objectives:** Human indices were developed to determine returning point of residents and damage restoration after the chemical accident

**Methods:** To determine the returning point of residents after the chemical accident, a new concept, the standard man model was introduced as a human index, in which both H-code and its acute effects were main idea. To evaluate the applicability, a hydrogen fluoride leakage accident in Gumi was applied. The returning point were suggested as the conservative remission period of acute effects among relevant hazard effects and compared with actual returning point. The coverage of each age group were considered with reflecting average daily dose expected for actual residents. In addition, a relief-index as a social-scientific approach was reflected as well to apply the damage restoration

**Results:** Actual returning point of residents in Gumi was 88 days; and that of standard man model suggested was 84 days. The expected amount of exposure at aged 12 or under was at least 2.35 times greater than that of this model, 40s, theoretically. However, their population ratio was less than 1%, so 99% of residents could be applied when the standard man model was applied. The relief-index was as an objective and quantitative methodology to apply the qualitative aspect.

**Conclusions:** Although evaluated as a relatively positive result, there was a limitation such as the number of accident applied to the verification of standard man model. The relief index was also considered, but further research should be carried out to find threshold level for the relief.

**Key words:** Chemical accident, returning point of residents, standard man model, remission period, acute effect

<sup>†</sup>**Corresponding author:** Chemtopia Co., Ltd, 12th floor, Daerung post tower 7th, 48, Digital-ro No.33, Guro-gu, Seoul, 08377, South Korea, Tel: +82-2-826-9100, E-mail: sanghee.park@chemtopia.net

Received: 28 September 2020, Revised: 19 October 2020, Accepted: 20 October 2020

## I. 서 론

국내에 유통되는 기존화학물질은 43,000여 종에 이르며 매해 신규화학물질이 화평법과 화관법을 통하여 등록 및 관리되고 있다. 화평법과 화관법은 2011년 ‘가습기 살균제’ 사망사건 및 2012년 구미 불화수소 유출사고를 계기로 유해화학물질관리법이 2015년에 화학물질 등록 및 평가 등에 관한 법률(이하 화평법) 및 화학물질관리법(이하 화관법)으로 개정되었다.

화평법 및 화관법 시행 이후 화학사고 발생 건수는 2015, 2017 및 2019년에 각각 113건, 79건 및 57건으로 법 시행 직후인 2015년에 비해 절반가량 줄었다. 법 시행 이전에는 정부 차원의 화학사고 현황조차 파악하지 못하였으며, 화학사고가 발생해도 대응할 수 있는 사후관리 시스템이 부재하였다. 그러나 화학물질안전원 개소와 더불어 2015년 법이 본격 시행되면서 체계적인 화학물질 및 화학사고의 안전관리가 가능하게 됐고, 화학물질 취급시설 안전기준 강화를 통해 위험요소를 예측하고 대응할 수 있게 됐다.<sup>1)</sup>

국내에서 2014년 이래 2020년 9월까지 발생한 사고의 유형을 분석해보면 총 559건의 사고 중 누출 431건, 화재 33건, 폭발 46건, 기타 49건으로 집계되었고 이러한 사고들의 원인은 작업자 부주의 및 시설관리 미흡이 대다수를 차지하고 있다. 지역별 사고현황을 보면 서울·경기(인천포함) 201건, 전라남·북도(광주포함) 75건, 경상남·북도(대구, 울산 및 부산 포함) 174건, 충청남·북도(대전 포함) 95건, 강원도 10건, 제주도 1건이 발생하였다.<sup>2)</sup>

이러한 화학사고로 인하여 근로자를 포함하여 인근 주민들에게 피해를 주고 있다. 2012년 9월 구미의 화학제품 수입·제조업체에서 불화수소 누출 사고가 발생하여 근로자 5명이 사망하였고 많은 지역 주민이 치료를 받았다.<sup>3)</sup> 이 당시 복귀 및 피해복구 시점의 결정 절차의 부재로 1차 복귀 후 재대피 하는 등 사고대응 체계의 문제점을 확인하였다. 화학사고 발생 건수는 감소하고 있지만 화학사고 피해지역 주민복귀 및 피해복구 시점을 논의하기 위한 가이드라인 및 대응 프로토콜이 절실한 시점이다. 화학사고 후 주민 복귀 프로토콜을 위한 결정요소로서의·과학적 관점의 접근이 일반적이고 중요한 역할

을 하지만 한계가 따른다. 우리는 특정 위험의 위험 또는 위협 요소가 제거되어도 불안과 같은 외상 후 장애가 지속되는 것을 확인하였다. 즉 안전과 안심의 정의는 다르다는 것을 인지하였다. 이러한 현실에도 대응 프로토콜 개발을 위한 연구가 부족한 형편이다. 본 연구는 화학사고 발생 후 주민복귀와 피해복구 시점의 예측에 의·과학적 관점과 사회과학적 관점을 복합적으로 고려하여 인체지표를 개발하였다.

## II. 연구 방법

국내 유통되는 기존화학물질 및 신규화학물질의 제조 및 이동 과정에서 발생할 수 있는 화학사고 후 주민복귀 및 피해복구 시점의 결정을 위한 인체지표 연구개발을 수행하였다.

### 1. 화학사고 후 주민복귀시점

#### 1.1. 표준인간 모델 개발

화학사고 피해지역 주민의 복귀시점 결정을 위하여 표준인간(standard man) 개념을 도입하였다. 표준인간의 기본 개념은 국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection, ICRP)에서 정의한 피폭선량 평가에 사용하는 표준 성인 인체 모델이다. 본 연구에서 도입한 표준인간은 화학사고 후 주민복귀시점의 설정을 목적으로 화학사고로 인하여 발현 가능한 유해영향 중 급성증상 및 질병의 관해(완화)시점을 기반으로 설계하였다. 직업환경의학과 전문의에 자문을 반영하여 기대수명의 중간값인 연령대(41-50세)를 표준인간의 기준으로 설정하였다. 표준인간 모델은 화학사고 후 주민복귀 시 취약계층을 포함한 모든 연령대에 적용을 위하여 표준연령대의 관해시점에 가중치 “2”를 취하여 활용 가능성을 검증하였다.

관해시점 설정을 위한 기본 데이터베이스를 구축하기 위하여 사고대비물질 97종을 대표 물질로 활용하였다. “화학물질관리법 제2조에 따라 화학물질 중에서 급성독성 및 폭발성 등이 강하여 화학사고의 발생 가능성이 높거나 화학사고가 발생한 경우 그 피해 규모가 클 것으로 우려되는 화학물질로서 화학사고 대비가 필요하다고 인정하여 제39조에 따라 환경부장관이 지정·고시한 화학물질”로서 보수적 관점으로 화학물질의 건강영향을 평가하는데 효과적일

것으로 판단하였다. 화학사고 발생 시 보고되는 주요 노출경로(경구, 경피, 눈, 호흡기)와 사고대비물질 97종의 노출경로를 대비하여 확인하였다. 주요 노출 경로 확인을 위하여 사고대비물질들의 해당 노출경로별 유해위험성 분류 건수를 확인하여 5점 만점 기준으로 비율화하여 적용하였다. 사고대비물질의 노출경로를 파악하여 유해·위험성 분류 중 건강유해성에 해당하는 건을 조사한 결과, 385건으로 확인되었다. 이러한 건강유해성은 5가지 범주 즉 경구, 피부, 눈, 호흡기계, CMR (Carcinogen, mutagen and reprotoxic)로 분류하였다. 건강유해성 중 경구 52건, 피부 96건, 눈 71건, 호흡기계 104건, CMR 35건, 기타 27건으로 분류하였다. 기타 나머지 분류를 제외하고 5점 만점으로 변환하여 도출하였다.

이러한 건강유해성을 급·만성 영향 및 후유증으로 분석 및 분류하기 위하여 유해코드(Hazard code, H-code)를 활용하였다.<sup>4)</sup> 해당 경로별 H-code 16종을 분류하고 아래와 같이 정리하였다(Table 1).

화학사고 발생 시 주요노출 경로 4가지를 조합하여 11개 군으로 분류하고 각 군별로 발현 가능한 징후, 증상 및 질병을 급성영향, 만성영향, 후유증 및 표적장기별 증상 등을 데이터베이스화하였다. H-code

와 GHS (Global Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals) 구분값을 화학물질의 분류 및 표시 등에 관한 규정과 전문의 의견을 참고하여 분류하였다(Table 2). 실제 화학물질 누출 사고 시 인체에 1차적으로 급성영향을 줄 수 있는 노출경로인 호흡기계, 피부계, 눈계의 H-code 항목을 GHS 구분값에 따라 분류에 반영하였다. 각 H-code에 해당하는 급성증상 및 질병의 관해시점은 의학저널에 언급된 값들 중 보수적인 것으로 적용하였다.

H-code별 건강유해성에 혼재되어 있는 징후, 증상 및 질병을 한국표준질병사인분류(Korean Standard Classification of Diseases, KCD-code)에 따라 가능한 범위 내에서 분류하였다. KCD-code는 세계보건기구의 국제질병사인분류 체계를 골격으로, 대한민국의 실정에 맞도록 제정한 것으로 모든 형태의 보건 및 인구통계 기록에 기재되어 있는 질병 및 기타 보건문제를 분류하는 Code이다. 분류체계는 대(장)·중(항목군)·소(3단위분류)·세(4단위분류)·세세분류(5단위분류)·세세세분류(6단위분류)의 6단계 분류체계(일부 분류 항목의 세항목은 제외)로 이루어져 있으며, 본 연구에서 도출한 각 계별 증상 및 질병을 KCD-code와 매칭을 통한 분류를 하였다.<sup>5)</sup>

**Table 1.** Definition and meaning of H-codes

Exposure routes	H-code	Definition	Meaning
Oral	H300	Acute toxicity cat.1&2	Fatal if swallowed
	H301	Acute toxicity cat.3	Toxic if swallowed
	H302	Acute toxicity cat.4	Harmful if swallowed
Dermal	H310	Acute toxicity cat.1&2	Fatal in contact with skin
	H311	Acute toxicity cat.3	Toxic in contact with skin
	H312	Acute toxicity cat.4	Harmful in contact with skin
	H314	Dermal corrosion/irritation cat.1	Causes severe skin burns and eye damage
	H315	Dermal corrosion/irritation cat.2	Causes skin irritation
	H317	Skin sensitization cat.1	May cause an allergic skin reaction
Eyes	H318	Serious eye damage/irritation cat.1	Causes serious eye damage
	H319	Serious eye damage/irritation cat.2	Causes serious eye irritation
Respiratory system	H304	Aspiration hazard cat.1	May be fatal if swallowed and enters airways
	H330	Acute toxicity cat.1&2	Fatal if inhaled
	H331	Acute toxicity cat.3	Toxic if inhaled
	H332	Acute toxicity cat.4	Harmful if inhaled
	H334	Respiratory sensitization cat.1	May cause allergy or asthma symptoms or breathing difficulties if inhaled

**Table 2.** Matching between H-code and GHS classification

Health hazard	Cat. 1	Cat. 2	Cat. 3	Cat. 4
Acute toxicity (Inhalation)	H330 Fatal if inhaled		H331 Toxic if inhaled	H332 Harmful if inhaled
Aspiration hazard	H304 May be fatal if swallowed and enters airways			
Respiratory sensitization	H334 May cause allergy or asthma symptoms or breathing difficulties if inhaled			
Acute toxicity (dermal)	H310 Fatal in contact with skin		H311 Toxic in contact with skin	H312 Harmful in contact with skin
Dermal corrosion/irritation	H314 Causes severe skin burns and eye damage		H315 Causes skin irritation	
Skin sensitization	H317 May cause an allergic skin reaction			
Serious eye damage/irritation	H318 Causes serious eye damage		H319 Causes serious eye irritation	

표준인간 모델의 적용성을 위하여 다음과 같이 평가하였다.

- (1) 구미 불화수소(CAS No. 7664-39-3) 누출 사고 후 주민복귀일과 표준인간 모델이 제시하는 주민복귀일 비교
- (2) 표준인간과 취약계층을 포함한 연령대별 일(1일)평균노출량 비교

(3) 구미 불화수소 사고지역의 건강영향평가 대상자의 연령대별 비율과 일(1일)평균노출량을 적용하여 표준인간 모델 적용성 평가  
 일(1일)평균노출량(Average Daily Dose, ADD)은 동일 노출조건(노출빈도, 노출기간, 평균시간)을 가정하여 식(1)에 따라 연령대별로 산출하였다.<sup>6)</sup>

$$\frac{\text{Concentration of agent (mg/m}^3\text{)} \times \text{Inhalation rate (mg/m}^3\text{)} \times \text{Exposure frequency (day/year)} \times \text{Exposure duration (year)}}{\text{Body weight (kg)} \times \text{Averaging time (day)}} \quad (1)$$

한국인의 노출계수 핸드북에 근거하여 취약계층으로 분류되는 13세 미만과 65세 이상의 호흡률은 Table 3과 같이 적용하였다. 영아 및 유아는, 호흡률 측정의 한계로 활동수준 별로 몸무게와 호흡률의 회귀식으로 추정된 수치를 반영하였다.<sup>6,7)</sup> 국제의약품

규제조화위원회는 취약계층을 18세 미만과 65세 이상으로 정의하였으나 본 연구는 일(1일)평균노출량에 큰 영향을 미치는 체중과 호흡률을 고려하여 보수적으로 적용하였다. 환경 영향 및 대상인구의 기저질환 등의 변수는 고려하지 않았다.

**Table 3.** Standard values of standard man and vulnerable group<sup>6,7)</sup>

Type	Standard man (41-50 years)	Vulnerable group (<13 years & ≥65 years)
Inhalation rate (m <sup>3</sup> /day)	15.5	11.1
Body weight (kg)	66.02	40.90

**Table 4.** Differences between relief and safety

Relief	Safety
Public judgment	Expert judgment
A state of mind in which one feels joy or happiness without feeling worry or anxiety from the mind	Physical state protected from external physical and technical matters
Peace of mind and well-being without risk of incidents or accidents	Safe condition from incident or accident
No worries or anxieties about unforeseen dangers	No worries or anxieties regarding unforeseen danger

마지막으로 실제 구미 불화수소 사고지역의 건강 영향평가 대상자의 연령대를 조사하여 예상 노출량의 영향을 받는 인구를 제외하고 표준인간 모델의 적용성을 확인하였다.

## 2. 피해복구

피해복구란 재해, 사고 따위로 인한 손실을 이전의 상태로 회복하는 것을 의미한다. 주민복귀 이후에 화학사고의 종료를 위하여 피해복구 시점의 설정이 요구된다.

### 2.1. 안심지수

화학사고 후 주민복귀에는 의·과학적 접근 외에 사회과학적인 측면의 고려가 필요하다. 전문가가 측

정하는 안전과 공중이 느끼는 안심에는 괴리가 있기에 이러한 갭을 메울 수 있는 방법으로 안심지수를 도입하였다. “성균관대 위험커뮤니케이션 연구단”에서 개발한 안심지수 조사를 인용하여 피해복구종료의 지표로 활용하였다. 단, 안심지수는 역치(threshold)의 기준이 정립되지 않았기에 대조군을 설정하여 상대평가로 결과를 확인하도록 접근하였다. 안전과 안심의 개념의 차이를 Table 4와 같이 확인하였다.

안심지수 조사는 “다항목 척도법 중 리커트합산 척도법”을 기반으로 총 21문항으로 구성되어 있으며 응답자의 태도나 가치를 평가하는 방법으로 지표를 추출하며 Table 5와 같이 분류된다. 안심지수의 산출 및 지수화를 위하여 식 (2)(n\_문항수,  $x_i$  항목별 안심지수)를 적용하여 항목별 점수에 따라 11점

**Table 5.** Composition of the relief index survey

Classification		Contents
Dimensional relief index	General (5 questions)	Respondent gender, age, residential area
	Part 1_beforehand (5 questions)	Concern level over the occurrence of accident
		Expectation of safety measures
		Usual relief (anxiety)
	Part 2_response (5 questions)	Communication level related to chemical accident risk
Preliminary management of overall safety and relief		
Expertise in rapid response from government departments		
Manual compliance level		
Part 3_follow-up (5 questions)	Provided information level	
	Cooperation level of residents	
	Responses regarding overall safety, relief	
	Identification of responsibility	
Overall relief index	Overall evaluation (1 question)	Compensation after accident
		Measures to prevent recurrence
		National follow-up measure
		Post management of overall safety, relief
		Overall relief index regarding chemical accident risk

척도로 측정하고, 이를 100점 만점 기준으로 지수화 하였다.<sup>8)</sup>

$$\text{Relief index} = \frac{1}{10} \times \sum_{i=1}^n (x_i - 1) \div n \times 100$$

(However,  $x_i$  is an itemized relief index) (2)

화학사고 발생지역 피해주민과 대조군(인근지역주민, 청정지역주민)에게 조사를 통해 산출된 안심지수를 비교하여 차이가 좁혀지는 시점을 피해복구시점으로 제안한다. 안심지수의 활용을 위해서 청정지역(예. 제주도) 데이터를 대조군으로 보유해야 한다.

### III. 결 과

#### 1. 주요 노출경로

화학사고 발생 시 주요 노출경로와 사고대비물질 97종의 해당 노출경로를 비교·분석하여 노출 가중치 순으로 호흡기계(3.9), 경피(2.8), 눈(1.9), 경구(1.7)로 열거하였다(Fig. 1).

#### 2. 표준인간 모델

노출경로별로 조합된 그룹들의 유해영향 중 급성

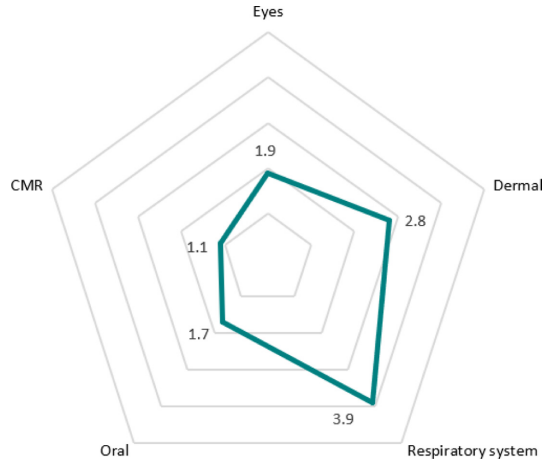


Fig. 1. The weighted values of major exposure routes for substances requiring preparation for accidents

영향을 Table 6 및 7과 같이 정리하였다. 표준인간의 기준연령대에 취한 가중치 “2”는 적용성 평가 1에서 검증하였다. 단, 만성영향군 및 외상 후 스트레스증후군(Post-Traumatic Stress Disorder, PTSD)로 진단받은 주민들은 지속적인 치료 및 모니터링이 필요하다.

이러한 각 계별 증상 및 질병을 바탕으로 의학적

Table 6. Matrix of major exposure routes and their health hazard

Group	Exposure pathway matrix	Health hazard
1	Oral+dermal+eyes+respiratory system	Acute toxicity (oral, dermal, inhalation), skin sensitization, dermal corrosion/irritation, serious eye damage/irritation, aspiration hazard, respiratory sensitization
2	Dermal+eyes+respiratory system	Acute toxicity (dermal, inhalation), serious eye damage/irritation, aspiration hazard, respiratory sensitization
3	Oral+dermal+respiratory system	Acute toxicity (oral, dermal, inhalation), aspiration hazard, respiratory sensitization
4	Oral+dermal+eyes	Acute toxicity (oral, dermal), serious eye damage/irritation
5	Dermal+eyes	Acute toxicity (dermal), serious eye damage/irritation
6	Dermal+respiratory system	Acute toxicity (dermal, inhalation), aspiration hazard, respiratory sensitization
7	Oral+respiratory system	Acute toxicity (oral, inhalation), aspiration hazard, respiratory sensitization
8	Eyes+respiratory system	Serious eye damage/irritation, aspiration hazard, respiratory sensitization
9	Oral	Acute toxicity (oral)
10	Eyes	Serious eye damage/irritation
11	Respiratory	Acute toxicity (inhalation), aspiration hazard, respiratory sensitization

**Table 7.** Example of hazard effects for exposure routes (group 1\_symptom, sign and disease)

System	Acute effects	Chronic effects	Sequela
Respiratory system	Pneumonia, cough, dyspnoea, cyanosis, lung injury, bronchoconstriction, shallow and rapid respiration, sore throat, stridor, asthma, stuffiness, sputum, reactive airways dysfunction syndrome, thoracalgia, upper airway edema, respiratory failure, larynx and bronchial edema	Chronic respiratory disease, pneumonia, chronic asthma, lung inflammation, pulmonary angioneurotic edema, fibroid lung, bronchitis, chronic cough	Reactive airways dysfunction syndrome, lung injury, dyspnoea, respiratory stimulation, pulmonary tissue destruction, pulmonary function insufficiency, non-specific bronchial hypersensitivity, chronic obstructive pulmonary disease, chronic bronchitis, bronchoconstriction
Integumentary system	Skin burn, skin irritation, dermalgia, frostbite, erythema, blister, skirt ulcer, dermatitis, dermal necrosis, flare, rash, tumefaction, redness of skin, itchy	Dermatitis	Yellow skin coloration, skin scarring, skin burn
Eyes	Ocular pain, tear, eye irritation, corneal clouding, sensitive to the light, loss of sight, eye injury, blurred vision, eye inflammation, stain eyesight, corneal damage, ophthalmia, bloodshot eyes	Eye irritation	Loss of sight, visual defect, cataract, glaucoma

**Table 8.** Example of KCD-code classification of symptoms and diseases for exposure routes

System	Symptoms or diseases	Remission period (D)	KCD-code
Respiratory system	Sputum		[R09.3] Abnormal sputum
	Bronchospasm	14 <sup>9)</sup>	[J20] Acute bronchitis
	Upper airway stimulation	14 <sup>10)</sup>	[J06] Acute upper respiratory infections of multiple and unspecified sites
	Bronchoconstriction	28 <sup>11)</sup>	[J20] Acute bronchitis
	Cough	21 <sup>12)</sup>	[R05] Cough
	Reactive airways dysfunction syndrome	15 <sup>13)</sup>	[J39.3] Upper respiratory tract hypersensitivity reaction, site unspecified
	Pneumonia	14 <sup>14)</sup>	[J68.0] Bronchitis and pneumonitis due to chemicals, gases, fumes and vapors
	Bronchitis	21 <sup>15,16)</sup>	[J68.0] Bronchitis and pneumonitis due to chemicals, gases, fumes and vapors
	Upper airway edema		[J39] Other diseases of upper respiratory tract
	Pharyngitis	14 <sup>16)</sup>	[J02] Acute pharyngitis
Nasal mucus	7 <sup>16)</sup>	[J30] Vasomotor and allergic rhinitis	

적 등에 명시된 관해시점을 확인하여 Table 8과 같이 데이터베이스화하였다.

### 2.1. 적용성 평가\_1

구미 불화수소 사고는 2012년 9월 27일 오후에 약 8-12톤이 누출되었으며, 이에 따라 사고 오염원 반경 1.3 km 이내 주민대피가 이루어졌다. 불화수소

유출 차단이 완료된 9월 28일에 주민복귀가 이루어졌으나, 10월 6일에 2차 대피를 했으며, 이에 따라 최종 주민복귀일은 12월 24일로 사고 후 88일이 경과한 후였다.<sup>3)</sup>

표준인간 모델이 제시하는 주민복귀일 감증을 위하여 불화수소의 주요 노출경로인 눈,경피 및 호흡기계와 매칭되는 Group 2 (Table 6)의 증상 및 질

**Table 9.** Remission period of group 2\_acute effects

Group 2 (H-code)			
Symptom	Remission period (day)	Symptom	Remission period (day)
Cough	21 <sup>(12)</sup>	Sore throat	10 <sup>(9)</sup>
Eye inflammation	21 <sup>(16)</sup>	Dyspnoea	14 <sup>(20)</sup>
Diarrhea	21 <sup>(16,17)</sup>	Bloodshot eyes	21 <sup>(21)</sup>
Headache	14 <sup>(8)</sup>	Erythema	42 <sup>(22)</sup>

**Table 10.** Comparison of ADD among age groups

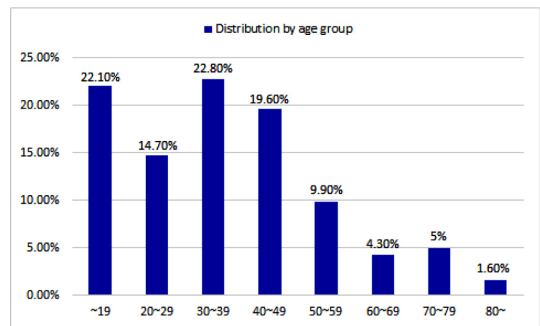
Age	Exposure level by age group (mg/kg-day)	Exposure level of standard man (mg/kg-day)	Ratio
1≤ - <3 years	1.02E+00	2.35E-01	4.36
3≤ - <7 years	5.52E-01		2.35
7≤ - <13 years	3.21E-01		1.37
13≤ - <19 years	2.46E-01		1.05
19≤ - <25 years	2.05E-01		0.87
25≤ - <35 years	2.17E-01		0.92
35≤ - <45 years	2.38E-01		1.01
45≤ - <55 years	2.24E-01		0.95
55≤ - <65 years	2.34E-01		0.99
65≤ years	2.44E-01		1.04

병의 관해시점을 Table 9와 같이 확인하였다.

불화수소의 노출로 발현 가능한 증상 및 질병은 기침, 결막염, 설사, 두통, 인후염, 호흡곤란, 눈충혈, 흉반 등이며 확인된 관해시점은 각각 21, 21, 21, 14, 10, 14, 21 및 42일이다. 이에 따라 본 연구에서는 [표준인간\*가중치(2)]를 적용하여 복귀시점을 84일(42일\*2)로 제안하였다. 이 같은 결과는 실제 최종 복귀시점인 88일과 차이가 크지 않음을 확인할 수 있다.

**2.2. 적용성 평가\_2**

일(1일)평균노출량을 연령대별로 산출하여(Table 10) 표준인간 기준 연령대 40대(2.35E-01 mg/kg-day)와 취약계층 즉 65세 이상 & 13세 미만(2.72E-01 mg/kg-day)의 평균값과의 비는 1.16으로 모델의 복귀시점 적용이 가능할 것으로 판단하였다. 하지만 13세 미만 아동들의 연령별 평균체중과 호흡률 차이가 크기에 노출량을 세분화하여 비교한 결과 7세 미만은 표준인간의 노출량 대비 2.35~4.36배의 고노출 가능성이 확인되었다.



**Fig. 2.** Age groups of accidental area residents in Gumi

**2.3. 적용성 평가\_3**

사고지역 주민건강영향평가 대상자는 1,364명이었으며 Fig. 2와 같이 연령대를 확인하여 19세 미만은 301명으로 파악되었다.<sup>3)</sup> 당시 주민건강영향 대상자에 중학교 학생 288명 포함되었기에 고노출이 예상되는 13세 미만의 주민수는 13명 내외로 추정되었다. 이를 바탕으로 구미 불화수소사고 피해지역 주민의 99%에 표준인간 모델이 제안하는 복귀시점 적용이 가능할 것으로 판단된다(Fig. 3).



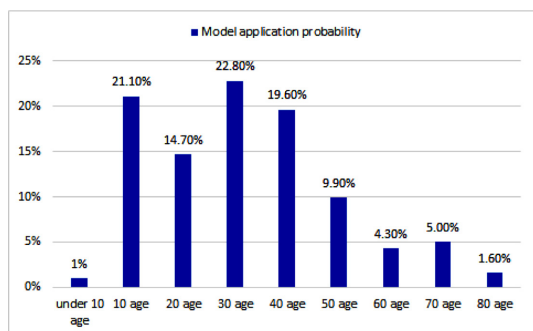


Fig. 3. Model application probability for accidental area residents in Gumi

### 3. 안심지수

안전이란 물리적·기술적 문제로 수용 가능한 혹은 잠재적인 위험으로부터 면해지는 것을 의미한다. 화학사고 피해주민들은 안전과 별개로 안심을 느끼고 있다고 판단하는데 한계점이 있다. 예를 들어 원자력발전소의 경우 정부나 전문가는 통계 가능한 위험이며 안전하게 관리되고 있다고 강조해도 공중은 후쿠시마의 사례를 통해 안심하지 못한다.

사고지역 주민의 안심지수가 대조군 수준으로 도달하기 위해서는 의료서비스 모니터링 및 지속적인 관리가 동반되어야 한다. WHO의 연구에 따르면 사고지역 주민과 소통이 없을 경우 피해복구까지 18개월 이상이 소요될 수 있음을 명시하였다.<sup>23)</sup> 이러한 사항이 일관적으로 진행되기 위해서는 해당 분야 전문가 및 이해당사자들이 심의위원회를 구성하여 합의를 통하여 피해복구시점을 도출해야 한다.

## IV. 고 찰

본 연구에서 개발한 표준인간 모델의 적용은 지역 주민에 영향이 제한적인 화학사고 보다는 2012년 발생한 구미 불산사고 규모 이상에서 적용이 가능하기에 사고 규모별 대응 프로토콜의 마련이 필요하다. 또한 사고의 규모에 따른 프로토콜 외에 발현 가능한 증상 및 질병에 지역별 취약성을 고려하고 이에 따른 대응책을 함께 접목해야 할 것이다. 표준인간 모델을 통한 주민 복귀시점과 구미 불화수소 사고를 비교한 결과는 84일과 88일로 실제 사례와 유사한 복귀시점이 제안되었지만 한 건의 사고로 적용성을 평가하였다는 제한점과 발생 가능한 유해영향의 증

상 및 질병의 관해시점 일부가 파악되지 않았기에 추가 검증이 필요할 것으로 생각된다.

화학사고로 인한 증상 및 질병과 KCD-code의 매칭을 통해 표준 상병 Code로써 1:1 매칭을 제시하고자 하였으나, 질병이 아닌 증상에 대한 KCD-code의 매칭에는 한계가 있었다. 이에 따라 표준인간 모델의 주민복귀시점 결정 시 증상 및 질병명을 제시하고 KCD-code는 참고자료로 활용할 수 있을 것으로 생각된다.<sup>5)</sup> 본 모델의 고도화를 위해서는 해당 증상 및 질병에 대한 관해시점, H-code의 구분 및 KCD-code 매칭에 추가 연구가 수행되어야 할 것이다.

표준인간 모델의 관해시점은 해당 H-code의 건강 유해성에 따라 발생 가능한 급성영향을 모두 나열하였기에 실제 사고 시 주민이 호소하는 증상 및 질병이 포함되지만 차이가 있을 수 있다. 구미 불화수소 사고 시 주민들이 호소한 증상 및 질병들은 Group 2의 유해영향에 포함되지만 일부 증상이 발현되지는 않았기에 실제 발현된 증상으로 표준인간 모델을 적용하였을 때는 복귀시점에 차이가 있을 수 있다. 하지만 모델의 활용에는 보수적 관점을 적용하였기에 연구의 목적과 부합한다고 판단된다.

노출량 관점의 적용성 평가는 노출량과 유병률 및 관해시점 간의 상관성 증명이 필요할 것이다. 특히 취약계층을 고려하였을 때 7세 미만 또는 13세 미만의 노출량은 최소 2.35배 큰 것으로 확인되었기에 표준인간 모델 적용에는 신중한 고려가 필요하다. 다만 취약계층을 포함한 주민복귀를 위하여 가중치(\*2)를 두었기에 특히 13세 미만에 적용을 위하여 질병에 대한 민감도와 유병률 등의 추가 연구 후 적용 여부를 판단해야 한다.

구미 불화수소 사고지역 주민의 연령분포에 따른 표준인간 모델을 적용하여 복귀율을 추정해 본 결과 약 99%로 나타났으나 지역별 주민의 연령대 비율이 다르기 때문에 차이가 있을 수 있다. 인구센서스 결과를 적용하여 2014년부터 2019년까지 화학물질 사고가 가장 많이 발생한 경기도와 경상북도(구미 포함)의 연령대별 인구수와 비율을 확인해보니 14세 미만 남성은 각각 1,798,661명과 301,028명으로 약 13% 및 11%였다. 인구센서스 결과에서는 13~14세의 남녀 모수가 포함되어 13세 미만의 비율을 정확하게 추정할 수 없지만, 13세 미만은 약 10% 일 것으로 추정하였다.<sup>24)</sup> 이를 감안하였을 때 90%의 주민

에 적용이 가능할 것으로 단순 판단하였다.

화학사고와 같은 특정 위험요인에 대하여 전문가가 측정할 위험수준과 공중의 체감에는 괴리가 존재하기에 주민복귀시점을 의·과학 관점만으로 접근에는 한계가 따른다. 현재 위험 관련 불안수준을 측정할 수 있는 도구는 있으나, 불안과 대비되는 안심의 측정도구는 없다. 그러므로 위험에 대한 안전과 함께 공중의 입장에서 안심수준 평가가 필요하다. 안심지수는 “리커트합산 척도법”을 활용하여 지수를 산출하는 것으로 실용성과 효과가 높다고 평가되며 평가자의 주관적 개입을 배제할 수 있어 객관적 측정이 가능한 장점이 있다. 본 연구에서 처음 도입하는 안심지수는 정성적인 내용을 정량적으로 판단할 수 있는 연구의 시발점일 것으로 생각된다.

본 연구를 기반으로 화학사고 발생 시 지역주민을 대피시키거나 행동지침이 명시된 위해관리계획서 상 사업주 의무사항에 실질적인 도움을 줄 수 있는 인체지표를 제안하여 정책적 연계 및 활용을 기대한다.

## V. 결 론

화학사고의 대응 현황을 보았을 때 지역 주민복귀 및 피해복구 대응 프로토콜의 연구 및 개발이 미흡한 형편이다. 본 연구는 화학사고 발생 후 주민복귀와 피해복구 시점의 예측에 의·과학적 관점과 사회과학적 관점을 반영하여 인체지표를 개발하였다.

인체지표는 화학물질 사고로 인한 유해영향 중 급성증상 및 질병의 관해시점을 기반으로 주민복귀시점을 예측하는 표준인간 모델을 개발하여 적용성 평가를 수행하였다.

첫 번째, 구미 불화수소 사고 후 주민복귀일과 표준인간 모델이 제시하는 주민복귀일 비교, 두 번째, 표준인간 기준연령대와 취약계층의 일(1일)평균노출량 비교, 세 번째, 구미 불화수소 사고지역의 연령대별 인구비율과 노출량에 따라 가능한 복귀 주민의 비율을 추정하여 표준인간 모델을 평가하였다. 이와 함께 안심지수를 도입하여 정성적인 내용을 정량적으로 판단하여 피해복구시점의 방법론으로 제시하였다.

비록 화학사고 한 건의 주민복귀시점으로 표준인간 모델의 적용성을 평가하였지만 가능한 모수가 한정적이고 의도적으로 선정된 비교 대상이 아닌 만큼 객관성은 인정될 것으로 생각된다. 또한 해당 지역

연령대별 인구비율의 특성상 99%의 피해지역 주민에 적용이 가능한 것 역시 긍정적인 결과이다. 다만 연령대별 노출량으로 판단할 때 13세 미만 특히 7세 미만에서 노출량의 차이가 2.35배 이상임을 고려했을 때 해당 연령대에 적용에는 추가로 고려해야 할 사항이 있음을 확인하였다. 국내에서 사고가 제일 많은 지역인 경기도의 인구비율과 노출량에 따른 복귀가능성을 단순 비교하였을 때 약 90%에 적용이 가능할 것으로 생각된다. 또한 안심지수를 사회과학적 측면으로 도입하였으며 화학사고 발생지역 피해주민과 대조군의 안심지수를 비교해서 그 차이가 좁혀지는 시점을 화학사고 피해복구시점으로 설정하였다.

표준인간 모델의 적용성을 검토한 결과 제한적이지만 특정 규모 이상, 즉 구미 불화수소 사고 규모에서 사고 초기에 전반적인 상황을 판단하는데 유용할 것으로 생각된다. 즉 특정 화학물질 사고 시 선제적으로 발생가능 증상 및 질병을 파악하고 주민복귀시점을 가늠하는 등 대응이 가능할 것이다.

## 감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 “화학사고대응환경기술개발사업”의 지원을 받아 연구되었습니다(과제번호: 20190019700012).

## References

1. Energydaily [Internet]. c2020. Reduced chemical accidents after the implementation of the ‘ACT ON REGISTRATION, EVALUATION, ETC OF CHEMICALS’ and the ‘CHEMICAL SUBSTANCES CONTROL ACT’;2020 June 22 [cited 2020 October 19]. Available from: <https://www.energydaily.co.kr/news/articleView.html?idxno=109297>.
2. National Institute of Chemical Safety [Internet]. c2020. Chemical accident status and cases;2020 April 6 [cited 2020 October 5]. Available from: <https://icis.me.go.kr/search/searchType2.do?menuNo=2020000&upperMenuNo=2000000&link=/search/searchType2.do&searchWord=#none>
3. Hube Global Co.,Ltd. Hydrogen Fluoride Leakage Accident 3rd Stage Resident Health Impact Survey. National Institute of Environmental Research; 2014.
4. National Law Information Center [Internet]. c2009. REGULATIONS ON CLASSIFICATION, LABEL-

- LING, ETC. OF CHEMICALS (Article 11 (Hazard or Danger Statements)); 2009 January 5 [cited 2020 August 19]. Available from: <http://www.law.go.kr/admRulLsInfoP.do?chrClsCd=&admRulSeq=2100000191770>
5. GOV.KR 24 [Internet]. c2017. The 8th Korean Standard Disease Classification (KCD-8) revision and announcement; 2017 July 26 [cited 2020 September 29]. Available from: <https://www.gov.kr/portal/ntnadmNews/2198351>
  6. Korean exposure factors handbook. National Institute of Environmental Research; 2019.
  7. Korean exposure factors handbook for children. National Institute of Environmental Research; 2019.
  8. Sungkyunkwan University SSK Risk Communication Research Center [Internet]. c2014. Relief Level Report on the Risk of New Infectious Diseases; 2014 October 14 [cited 2020 September 29]. Available from: [https://shb.skku.edu/riskcomm/menu4/sub4\\_3.jsp?mode=view&article\\_no=101371&board\\_wrapper=%2Friskcomm%2Fmenu4%2Fsub4\\_3.jsp&pager.offset=0&board\\_no=1096](https://shb.skku.edu/riskcomm/menu4/sub4_3.jsp?mode=view&article_no=101371&board_wrapper=%2Friskcomm%2Fmenu4%2Fsub4_3.jsp&pager.offset=0&board_no=1096)
  9. FAIRVIEW [Internet]. c2000. Bronchospasm (Adult); 2000 [cited 2020 June 10] Available form: <https://www.fairview.org/patient-education/115807EN>
  10. Gozales R. CDC [Internet]. c2001. Nonspecific Upper Respiratory Tract Infection; 2001 [cited 2020 August 19] Available from: <https://www.primary-care.tips/uploads/3/0/3/7/3037726/antibiotic20use20in20adults20respiratory20get20smart20cdc20academic20detail1.pdf>
  11. Parsons JP, Hallstrand TS, Mastrorade JG, Kaminsky DA, Rundell KW, Hull JH, et al. An Official American Thoracic Society Clinical Practice Guideline: Exercise-induced Bronchoconstriction. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2013; 187(9): 1016-1027.
  12. McPhee J, Papadakis A, Rabow W. CURRENT Medical Diagnosis and Treatment, 52th ed. New York: McGraw-Hill; 2013.
  13. Shah T, NMS Medicine Casebook. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins; 2009.
  14. Andreoli TE, Benjamin IJ, Griggs RC, Wing EJ. Andreoli and Carpenter's Cecil Essentials of Medicine, 8th ed. New York: Elsevier; 2010.
  15. AMERICAN FAMILY PHYSICIAN [Internet]. c2000 Diagnosis and Treatment of Acute Bronchitis; 2000 December 1 [cited 2020 October 13]. Available from: <https://www.aafp.org/afp/2010/1201/p1345.html>.
  16. Tintinalli JE, et al. Tintinalli's Emergency Medicine: A Comprehensive Study Guide, 8th ed. New York: McGraw-Hill; 2015.
  17. Marx JA, Hockberger RS, Walls R. Rosen's Emergency Medicine: concepts and clinical practice, 7th ed. Philadelphia: Mosby; 2010.
  18. Ropper AH, Bron RH. Adams and Victor's Principles of Neurology, 8th ed. New York: McGraw-Hill; 2005.
  19. Healthline [Internet]. c2005. How Many Days Does It Take to Recover from a Sore Throat?; 2018 October 23 [cited 2020 October 19]. Available from: <https://www.healthline.com/health/how-long-does-a-sore-throat-last>
  20. Family Practice Notebook [Internet]. c1995. Acute Respiratory Distress Syndrome; 2020 October 13 [cited 2020 October 19]. Available from: <https://fpnotebook.com/Lung/Failure/ActRsprtryDstrsSyndrm.htm>
  21. Seoul national university hospital [Internet]. c2010. Medical encyclopedia; 2010 [cited 2020 October 19]. Available from: <http://www.snuh.org/health/encyclo/view/12/2/2.do>
  22. Braunwald E, Isselbacher KJ, Petersdorf RG, et al. Harrison's Manual of Medicine, 17th ed. New York: McGraw-Hill; 2009.
  23. World Health Organization (WHO). Manual for the Public Health Management of Chemical Incidents. 2009.
  24. SGIS Statistical geographic information service [Internet]. c2015. 2020 Population and housing census; 2015 [cited 2020 September 5]. Available from: <https://sgis.kostat.go.kr/jsp/pyramid/pyramid1.jsp>

#### <저자정보>

양준용(본부장), 허정무(주임), 이현석(과장), 이준상(차장), 조용성(연구관), 김호현(교수), 박상희(대표)