

## 사고대비물질 개인보호구 선정에 관한 연구(1): 물질유해성 및 작업위해성 분석

한돈희\*† · 정상태\* · 김종일\* · 조용성\*\* · 이청수\*\*

\*인제대학교 보건안전공학과

\*\*화학물질안전원 연구개발교육과

### A Study on Selecting Personal Protective Equipment for Listed Hazardous Chemicals (1): Analysis of Hazard Ranks and Workplace Exposure Risks

Don-Hee Han\*†, Sang-Tae Chung\*, Jong-Il Kim\*, Yong-Sung Cho\*\*, and Chung-Soo Lee\*\*

*\*Department of Occupational Health and Safety Engineering, Inje University*

*\*\*Research Development and Education Division, National Institute for Chemical Safety*

#### ABSTRACT

**Objectives:** According to the new Chemical Control Act from the Korean Ministry of Environment (2014-259), workers handling hazardous chemicals should wear personal protective equipment (PPE). However the act simply states in basic phrases that every worker handling one or more of the 69 listed chemicals should wear PPE and does not consider the unique hazard characteristics of chemicals and work types. The main purpose of this study is to provide basic data to revise the act to suit particular work processes and situations.

**Methods:** The hazard rank of the substances was classified based on hazardous characteristics such as LC50 and vapor pressure using matrix analysis. The workplace exposure risk of the substances was also determined through a matrix analysis based on the previously determined hazard ranks and the demands of manual handling together with the likelihood of accident frequency of the operation combined with the exposure of workers during spill accidents.

**Results:** To meet the demands for developing subsequent guidelines for the risk-based application of PPE in hazardous workplaces, this study sorted the 69 listed chemicals into five hazardous categories based on their LC50 and vapor pressures, and also assigned exposure categories according to exposure vulnerability for various types of work which are frequently performed throughout the life cycle of the chemicals.

**Conclusion:** In the next study, an exposure risk matrix will be produced using the hazard rank of chemicals and workplace exposure risk, and then PPE will be selected to suit the categories of the exposure risk matrix.

**Key words:** Hazard rank, hazardous chemicals, personal protective equipment (PPE), workplace exposure risk

#### I. 서 론

화학물질의 사용 증가는 국가의 부(富)의 축적과

일상생활의 편리함을 가져왔지만 반대급부로 사고로 인한 취급자 및 비취급자들의 인명 및 재산상의 피해는 재난수준에 이르러 정부에서는 화학물질안전에

†Corresponding author: Department of Occupational Health and Safety Engineering, Inje University, Gyeongnam, 50834, Republic of Korea, Tel: +82-55-320-3285, Fax: +82-55-325-2471, E-mail: dhan@inje.ac.kr

Received: 26 August 2016, Revised: 16 December 2016, Accepted: 19 December 2016

대한 대책마련에 부심하고 있다.

정부통계에 의하면 2003년부터 2015년까지 화학 물질사고에 의한 사망자는 46명, 부상자 536명이 이르고 있다.<sup>1)</sup> 이중에서도 최근 사회적으로 가장 큰 이슈가 되었던 사고는 2012년 9월의 구미 불화수소 누출사고이다. 이 사건은 탱크로리에 실린 불화수소 가스(일명 불산가스)를 공장 내 설비에 주입하던 중 근로자의 실수로 탱크로리의 밸브가 열리면서 가스가 유출되어 공장 근로자 5명이 사망하고 18명이 부상을 당하였다.<sup>2)</sup> 이 사건은 가스 누출 이후 신속한 조치가 이루어지지 않아 산업단지 인근 지역까지 가스가 퍼지면서 농작물이 죽고 가축이 가스 중독 증상을 보이는 등 피해가 속출하였다. 대형 화재·폭발 사고가 아님에도 불구하고 이 누출사고에서 비교적 인명피해가 컸던 직접적인 이유는 취급 근로자들이 화학물질의 종류와 작업 공정에 적합한 개인보호구를 착용하지 않고 작업을 수행하였기 때문이다.

이 사고가 날 때까지 유해화학물질 취급 근로자들의 개인보호구장구에 관한 명확한 정부 규정이 없어 사고 진압 시 많은 어려움을 겪었고 진압에 참여했던 소방관들이 병원에 입원하기도 하였다. 이 사건을 계기로 환경부에서는 유해화학물질을 취급하는 근로자는 정해진 개인보호구를 착용할 것을 법으로 정하였다.

『화학물질관리법』 제14조(취급자의 개인보호장구 착용)에 따르면 '유해화학물질을 취급하는 자는 해당 유해화학물질에 적합한 개인보호장구를 착용하여야 한다'라고 명시되어 있으며<sup>3)</sup> 이에 따라 『유해화학물질 취급자의 개인보호장구 착용에 관한 규정』을 환경부 고시로 제정하였다.<sup>4)</sup> 이 고시 제4조 '사고대비물질 취급자의 보호장구 착용'에서는 특별히 사고대비 69종에 대한 호흡보호구, 보호복 및 안전장갑을 정하여 착용하도록 규정하고 있다. 구체적으로 이 규정을 살펴보면, 사고대비물질별 개인보호장구의 구체적 종류 및 기준 등을 명시하였으며 만일에 있을 사고에 대비하여 취급자의 생명을 보호하고, 즉각적인 대응으로 2차 피해 확산을 예방하기 위해 전면형 호흡보호구를 착용토록 규정하고 있다.

그런데 사고대비물질을 취급하는 모든 산업현장에서 취급 근로자가 전면형 호흡보호구를 착용하도록 한 것이나 일부 물질에서 1형식 화학물질용보호복을 착용하도록 규정한 것은 사업장의 여러 가지 현실적

인 어려움을 반영하지 않아 오히려 취급자들이 개인 보호구를 착용을 꺼리는 결과를 초래한다는 의견이 제기되었다(산업계 의견). 대표적인 어려움은 전면형 호흡보호구 혹은 1형식 화학복을 착용할 경우 안전모 착용이 어렵고 시야 확보가 어려워 추락, 충돌 등 안전사고의 위험이 있고 하절기 작업시 열사병 등 고열장해의 위험이 있다.

이상과 같이 환경부 고시에서 정한 사고대비물질 취급 근로자를 위한 기존 개인보호구의 규정은 취급자의 안전 및 보건을 우선시하였으나 현실적으로 실행하는데 어려움이 따르고 있다. 그래서 환경부에서는 이러한 문제점을 인식하여 사고대비물질 취급자를 위한 개인보호구 고시를 개정하려고 한다.

본 연구의 목적은 고시 개정에서 앞서 필요한 기초 자료를 수집하는 것으로 1차로 유해화학물질의 '물질유해성'과 작업형태별 '작업위해성'을 분석하고 2차로 이들 물질유해성과 작업위해성을 바탕으로 '노출위해성 매트릭스(matrix)'를 만든 다음 각 카테고리에 적합한 개인보호구를 선정하는 것이다.

## II. 연구방법

### 1. 사고대비물질 69종의 선정

『화학물질관리법』 제39에는 인화성, 폭발성 및 반응성, 유출·누출 가능성 등 물리적·화학적 위험성이 높은 물질이나 급성독성이 큰 물질 등에 대해서는 '사고대비물질'로 지정하도록 되어 있으며<sup>5)</sup> 이에 따라 현재 69종이 '사고대비물질'로 지정되어 있다. 또 환경부고시 『유해화학물질 취급자의 개인보호장구 착용에 관한 규정』 제4조에서는 사고대비물질 취급자에게는 개인보호장구 착용을 의무적으로 규정하고 있어<sup>6)</sup> 이상의 내용을 근거로 화학물질 69 종을 연구대상으로 선정하였다.

### 2. 연구흐름도

본 연구의 전체적인 연구흐름도는 Fig. 1과 같다. (1) 유해화학물질의 유해성(이하 '물질유해성'라고 칭함) 확인, (2) 작업형태별 위해성(이하 '작업위해성'라고 칭함) 분석, (3) 물질유해성과 작업위해성을 이용한 노출위해성 매트릭스, (4) 개인보호구(PPE)에 관한 국내외 자료 분석 그리고 (5) 매트릭스의 각 카테고리에 맞는 개인보호구의 선정 작업이다. 이번

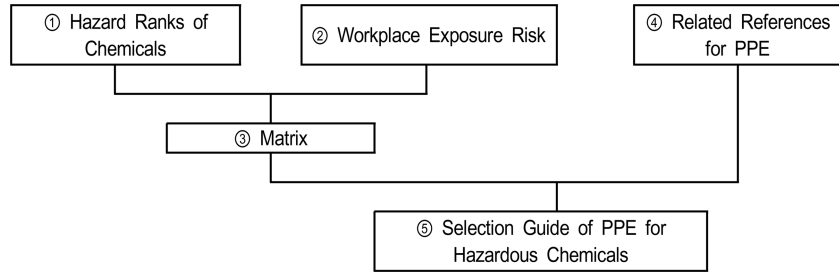


Fig. 1. Flowchart to make selection guide of PPE for hazardous chemicals.

연구에서는 (1)과 (2)의 부분이다.

**3. 물질유해성(Hazard rank)**

1) 물질유해성 도출방법

화학물질의 물질유해성 평가에는 그 물질이 가지고 있는 많은 물리화학적인 특성을 고려해야 하겠으나 그럴 경우 너무 복잡해져서 연구목적에 맞지 않을 수 있으므로 연구목적에 부합한 가능한 한 단순한 특성만을 고려하였다. 연구의 목적이 사고대비물질 취급장에서 작업공정에 따른 취급자의 개인보호구의 선정 기준을 마련하는 것이기 때문에 물질의 유해성 중 독성만을 고려하되 특별히 흡입독성에 중점을 두었다. 따라서 물질 자체가 가진 내재적 흡입독성을 가장 잘 대표하는 LC50(반수치사농도)와 누출되었을 때 대기 중의 확산으로 노출량의 정도를 잘 대변하는 증기압만을 고려하였다. 이 같은 물질유해성의 개념은 Jörg Steinbach (1999)가 제시한 화학공정 위해성의 전형적인 평가방법에 따른 것이다.<sup>5)</sup>

2) 물질위해성 등급 추산방법

연구에 활용한 데이터베이스는 국립환경과학원의 화학물질안전관리정보(KISCHEM)와 유해화학물질 『Key Info Guide』를 활용하였다.<sup>6)</sup> 증기압은 25°C를 기준으로 하였고 해당온도의 자료가 없을 때는 다른 온도의 증기압자료와 비점자료를 Antoine식에 적용하여 25°C 증기압으로 추산하였다.<sup>7)</sup> 자료가 없거나 고체로 증기압이 거의 없는 물질은 ND (No Data)로 표시하였다.

Antoine식:  $\log P = A - B/T$ , P: 증기압(mmHg), A, B: 고유상수, T: 절대온도(°K)

급성흡입독성을 대표하는 LC50(ppm)는 rat 1시간 자료를 기준하며 4시간 자료만 있을 때는  $LC50(1시간) = 2 \times LC50(4시간)$ 로 추산, rat 이외의 자료도 그 대로 인용하였다.<sup>8)</sup>

**4. 작업위해성(Workplace exposure risk : WER)**

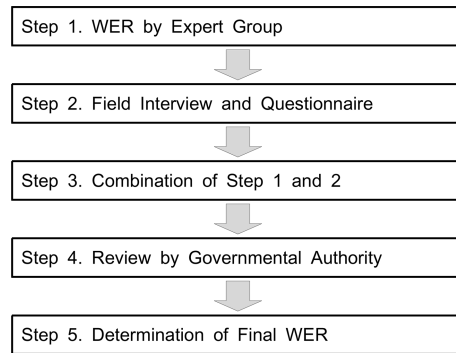


Fig. 2. Process of determination of workplace exposure risk (WER).

작업위해성 등급은 다음과 같이 5단계를 거쳐 결정하였다(Fig. 2 참조)

1) 1단계: 전문가에 의한 작업위해성 등급

‘전문가의 작업위해성 등급’이란 기존 공정안전과 관련한 연구 자료를 바탕으로 이 분야 전문가에 의해 만들어진 것이다. 1단계는 전문가적 경험에 의해 장시간에 걸쳐 축적된 주관적인 등급이므로 특별히 관련 문헌은 존재하지 않으나 상당히 신빙성이 있는 정성적 자료이다.

2) 2단계: 현장 및 설문조사에 의한 작업위해성 등급

현장조사 사업장은 사고사례분석, 사용량, 사고대

비물질의 취급 방법별(제조 생산, 운반, 보관, 사용, 수출입 등) 분류, 사업장의 지역별 위치, 사업장의 규모 등을 고려하여 우선순위를 정하였고 이것을 다시 관련정부기관과 상의하여 방문할 사업장을 최종적으로 선정하였으며 실제 방문한 사업장은 25개이었다. 사업장을 방문한 후에는 실제 작업 공정을 관찰하였으며 작업이 없는 경우에는 화학물질 취급 담당자에게 작업 공정에 대한 설명을 들었다. 설문조사는 사고대비물질 취급 담당자들을 대상으로 관련 정부기관에서 유해성관리계획 집합교육을 받을 때 한꺼번에 작성하도록 하였으며 유효한 설문지는 총

둘 중 큰 것을 ‘통합 작업위해성 등급’으로 결정하였다.

4) 4단계: 관련정부 실무담당자의 검토

현장을 자주 방문하는 관련정부기관 실무담당자가 3단계에서 만들어진 ‘통합 작업위해성 등급’을 재검토하였다.

5) 5단계: 최종 작업위해성 등급 확정

이미 만들어진 ‘물질유해성’과 앞으로 있을 ‘노출 매트릭스’를 고려하여 ‘최종 작업위해성 등급’으로 확정하였다.

**Table 1.** Overview of field and questionnaire surveys

	Field	Questionnaire
No. of Total	25	142
Priority of field selection	· Frequent accidents · Hazard Rank of 4, 5 · Volume of chemicals handled · Different process · Recommendation of related government	-
Methodology	Observation and interview	Questionnaire sheet
Area	Ulsan, Yeosu, Dangjin and so on	-
Evaluation method	Average of response scores	
Survey period	2016. 1 ~ 2016. 6	

142개이었다. 현장 및 설문조사에 관한 내용은 Table 1에 정리하였다.

3) 3단계: 통합 작업위해성 등급

앞의 두 단계에서 얻은 결과를 비교하였다. 응답 평가점수의 평균값을 산출하고 이것을 1단계 ‘전문가의 1차적인 작업위해성 등급’과 비교하여

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 물질유해성

증기압 및 독성의 상대적인 크기에 따라 매트릭스 형태로 물질유해성 등급을 I, II, III, IV, V의 5등급으로 나누었다.

1) 증기압

비휘발성 물질은 등급 I을 부여하였다. 증기압이 10 mmHg 이상일 때 누출로 인한 노출량이 큰 것으로 간주하였다. 이 기준은 미국 EPA의 EPCRA (Emergency Planning and Community Right-to-know Act)법에서 극히 유해한 물질(EHS: Extremely Hazardous Substances)로 지정한 물질 중 증기압 10 mmHg의 물질이 누출 시 확산우려가 큰 물질로 간주하여 위해관리계획(RMP: Risk Management Planning)의 대상물질로 한 사례를 참조한 것이다.<sup>9)</sup>

2) 독성

미국소방협회의 NFPA704 시스템에 의한 유해화학물질의 독성수준은 Table 2와 같이 5개 등급으로 나누며 이번 연구에서도 이 기준을 발췌 활용하였다.<sup>10)</sup>

**Table 2.** Classification of health hazard levels of chemicals by NFPA704

Category	Health Hazard				
	4	3	2	1	0
LC50/Gas (ppm)	<1000	1001~3000	3001~5000	5001~10000	>10000

- LC50(1 hr) > 10000(ppm) : Very low inhalation toxicity (Level 0)
- 1000(ppm) < LC50(1 hr) < 10000(ppm) : Considerable inhalation toxicity (Level 1,2,3)
- LC50(1 hr) < 1000(ppm) : Very high inhalation toxicity (Level 4)

LC50(1시간) < 1000 ppm의 높은 흡입독성물질은 GHS 급성흡입독성 기준 중 가장 높은 ‘Category-1’으로 분류하고 있으며 LC50 1000 ppm 이하는 아래와 같이 더욱 세분화 한다.<sup>8)</sup>

- 100(ppm) < LC50(1시간) < 1000(ppm): 흡입독성이 매우 높은 물질로 취급시 공기호흡기(SCBA: Self Contained Breathing Apparatus)의 착용이 권장되나 선별적으로 공기정화식 호흡보호구 사용도 가능한 수준이다.

- LC50(1시간) < 100(ppm) 흡입독성이 극히 높은 물질로서 취급시 공기호흡기(SCBA)의 상시 착용이 권장되는 수준으로 대략적으로 고용노동부 노출기준(TWA)의 0.1 ppm 이하의 물질이다.

3) 물질유해성 등급

증기압과 독성을 이용하여 물질유해성 등급을 분류한 결과 Fig. 3과 같다. 5등급은 이미 상온에서 기체상이거나 증기압이 커서(10~760 mmHg) 쉽게 가스로 변할 수 있는 물질들로서 화재 폭발의 위험이 매우 높거나 독성이 강하여(LC50 1~100 ppm) 단시간 노출시 생명을 위협할 수 있는 물질들이다. 4등급은 증기압은 5등급과 같지만 독성이 5등급보다 약간 약하거나(LC50 100~1000 ppm) 반대로 증기압은 5등급보다 낮으나(1~10 mmHg) 독성은 5등급과 동일한 범주의 물질들이다. 1등급은 5등급과 정반대의 물질들로서 증기압이 낮아 증발이 잘되지 않으며(LC50 1~100 ppm) 독성이 낮은(10,000 ppm 이상) 물질들이다. 2,3등급은 1등급과 4,5등급의 중간에 해당하는 물질들이다.

이와 같은 등급기준을 이용하여 평가한 69종 사고대비물질의 물질유해성 등급 분포도는 Fig. 4와 같다(자료 없는 물질은 미포함). 5등급 12종, 4등급 15종, 3등급 19종, 2등급 11종 그리고 1등급 12종으로 비교적 고르게 분포되었으며 중간 등급인 3등급이 가장 많은 19종을 차지하였다. Table 3은 이것을 표로 작성한 것이다.

물질유해성 등급 구분 외에도 10년 동안의 국내 사고사례들을 분석한 결과<sup>1)</sup> 토대로 5, 4 등급은 고유해성, 3, 2 중유해성, 1 등급은 저유해성 물질로 구분하였다. 예를 들어, 4 등급에 해당하는 이화탄소, 플루오르화수소, 황화수소 등은 국내에서 수많은 사고(누출, 유출, 화재·폭발, 직업병)를 일으켰던

760 (mmHg)	V	IV	III	II
10 (mmHg)	IV	III	II	I
Vapor pressure	1	100	1000	10000
	Inhalation Toxicity (LC50, ppm)			

Fig. 3. Level of classification of hazards ranks for chemicals.

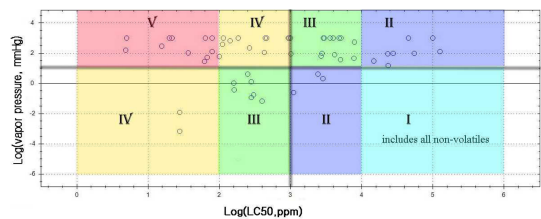


Fig. 4. Distribution of hazard ranks of 69 hazardous chemicals.

물질이기 때문에 5 등급과 같이 고유해성 물질로 구분하는 것이 타당하다고 판단하였다.

개인보호구 중에서도 호흡보호구의 역할이 가장 중요한 점을 고려할 때 4, 5 등급 물질 중 많은 물질들, 예를 들어, 플로오린, 포스겐, 아르신, 포스핀, 사린 등은 적절한 흡착제가 없어 결국 송기마스크 혹은 공기호흡기를 착용해야 하고 1 등급 물질들은 방진마스크만 착용해도 무방하다는 점을 고려한다면 금번의 물질유해성 분류방법은 적절하였다고 판단된다.

2. 작업위해성

1) 작업공정 및 작업형태

작업공정은 화학물질 취급상의 전 생애 주기적 관점에서 다음과 같이 분류하였다.

- 정상작업: 하역 및 원료이송작업, 정규생산운전, 폐기 및 후처리작업

- 비정규작업: 유사시 비상작업 및 유지보수작업

화학물질을 취급하는 작업형태는 매우 다양하여 정형화하는 것은 매우 힘들지만 작업위해성 등급화를 위하여 작업공정별로 대표적인 작업형태만 제시하였다. 제시된 작업형태는 석유화학과 같은 대단위 연속공정 화학시설보다는 작업자의 개입이 빈번하여

**Table 3.** Hazard rank of hazardous chemicals

Hazard Ranks	Serial No.	Names of Chemicals		CAS No.
		Korean	English	
5 (No. of Total 12)	2	메틸히드라진	Methyl hydrazine	60-34-4
	12	포스겐	Phosgene	75-44-5
	16	메틸비닐케톤	Methyl vinyl ketone	78-94-4
	22	아크롤레인	Acrolein	107-02-8
	37	아크릴일 클로라이드	Acryloyl chloride	814-68-6
	47	삼염화인	Phosphorus trichloride	7719-12-2
	51	아르신	Arsine	7784-42-1
	53	포스핀	Phosphine	7803-51-2
	54	옥시염화인	Phosphorus oxychloride	10025-87-3
	55	이산화염소	Chlorine dioxide	10049-04-4
	56	디보란	Diborane	19287-45-7
	68	사린	O-Isopropyl methyl phosphonofluoridate	107-44-8
4 (No. of Total 15)	1	포름알데히드	Formaldehyde	50-00-0
	8	시안화수소	Hydrogen cyanide	74-90-8
	10	이황화탄소	Carbon disulfide	75-15-0
	18	메틸 아크릴레이트	Methyl acrylate	96-33-3
	24	아크릴로니트릴	Acrylonitrile	107-13-1
	31	트리에틸아민	Triethylamine	121-44-8
	34	에틸렌이민	Ethylenimine	151-56-4
	35	톨루엔-2,4-디이소시아네이트	Toluene-2,4-diisocyanate	584-84-9
	40	디이소시아산이소포론	Isophorone diisocyanate	4098-71-9
	43	플루오르화수소	Hydrogen fluoride	7664-39-3
	48	플루오린	Fluorine	7782-41-4
	49	염소	Chlorine	7782-50-5
	50	황화수소	Hydrogen sulfide	7783-06-4
	57	산화질소	Nitric oxide	10102-43-9
	69	염화시아나	Cyanogen chloride	506-77-4
3 (No. of Total 19)	3	포름산	Formic acid	64-18-6
	6	염화메틸	Methyl chloride	74-87-3
	11	산화에틸렌	Ethyleneoxide	75-21-8
	13	트리메틸아민	Trimethylamine	75-50-3
	14	산화프로필렌	Propylene oxide	75-56-9
	20	파라-니트로톨루엔	4-Nitrotoluene	99-99-0
	21	염화 벤질	Benzyl chloride	100-44-7
	23	알릴 클로라이드	Allyl chloride	107-05-1
	26	알릴알코올	Allyl alcohol	107-18-6
	27	메타-크레졸	m-Cresol	108-39-4
	29	페놀	Phenol	108-95-2
	30	노말-부틸아민	n-Butylamine	109-73-9
	36	일산화탄소	Carbon monoxide	630-08-0
	39	메틸에틸케톤 과산화물	Methyl ethyl ketone peroxide	1338-23-4
	42	염화수소	Hydrogen chloride	7647-01-0
	44	암모니아	Ammonia	7664-41-73
	46	질산	Nitric acid	7697-37-2
	52	클로로술폰산	Chlorosulfonic acid	7790-94-5
	58	니트로메탄	Nitromethane	75-52-5

**Table 3.** Hazard rank of hazardous chemicals (continued)

Hazard Ranks	Serial No.	Names of Chemicals		CAS No.
		Korean	English	
2 (No. of Total 11)	4	메탄올	Methanol	67-56-1
	5	벤젠	Benzene	71-43-2
	7	메틸아민	Methylamine	74-89-5
	9	염화비닐	Vinyl chloride	75-01-4
	15	메틸에틸케톤	Methyl ethyl ketone	78-93-3
	17	아크릴산	Acrylic acid	79-10-7
	19	니트로벤젠	Nitrobenzene	98-95-3
	25	에틸렌디아민	Ethylenediamine	107-15-3
	28	톨루엔	Toluene	108-88-3
	32	아세트산에틸	Ethyl acetate	141-78-6
	61	과산화수소	Hydrogen peroxide	7722-84-1
1 (No. of Total 12)	33	시안화나트륨	Sodium cyanide	143-33-9
	38	인화아연	Zinc phosphide	1314-84-7
	41	나트륨	Sodium	7440-23-5
	45	황산	Sulfuric acid	7664-93-9
	59	질산암모늄	Ammonium nitrate	6484-52-2
	60	헥사민	Hexamine	100-97-0
	62	염소산칼륨	Potassium chlorate	3811-04-9
	63	질산칼륨	Potassium nitrate	7757-79-1
	65	과망간산칼륨	Potassium permanganate	7722-64-7
	65	과염소산칼륨	Potassium perchlorate	7778-74-7
	66	염소산나트륨	Sodium chlorate	7775-09-9
	67	질산나트륨	Sodium nitrate	7631-99-4

노출사고의 유해성이 높은 중소규모의 회분식 공정을 중심으로 도출하였다.<sup>11)</sup>

2) 작업위해성 결정인자

① 수작업 요구수준(Manual demand)

작업자가 작업에 개입하여 수작업의 요구수준이 높을수록 노출 위험성이 높은 작업에 해당하며 다음과 같은 기준으로 등급화 하였다.

- 1 작업이 거의 자동화되어 수작업이 거의 동반되지 않는 수준
- 수작업 요구 수준 2 작업이 전체적으로 기계설비에 의하여 이루어지나 어느 정도 수작업이 동반되는 수준
- 3 모든 작업이 거의 수작업으로 이루어지는 수준

② 누출사고 빈도(Accident frequency)

작업 및 공정의 특성 상 누출사고가 발생할 가능성의 수준에 따라 다음과 같은 기준으로 등급화 하였다.

- 이전에 누출사고가 발생한 사례가 없거나 향후에도 발생 가능성이 매우 낮다고 생각되는 수준
- 누출 사고 빈도 1 누출사고는 없었거나 드물게 발생하지 않고 사고 발생의 가능성은 충분히 있다고 생각되는 수준
- 2 누출사고의 유해성이 항상 존재하는 수준
- 3 누출사고의 유해성이 항상 존재하는 수준

③ 누출시 노출정도(Exposure level)

누출사고가 발생했을 때 호흡기 노출을 통하여 작업자에게 건강상 유해성을 미치는 수준을 다음과 같은 기준으로 등급화 하였다.

- 누출시 노출 정도
- 1 누출사고가 발생하더라도 누출량이 극소량이며 작업자에게 거의 해가 없는 수준
  - 2 누출사고 시 작업장 인근에 있는 작업자에게 노출되어 건강상의 상당한 피해를 줄 수 있는 수준
  - 3 누출사고 시 작업장에 광범위하게 확산되어 작업자에게 건강상의 심각한 피해를 줄 수 있는 수준

3) 작업위해성 등급의 결정(Risk)  
 각 작업형태에 대한 상기 각 결정인자의 1, 2, 3 등급 부여는 우선적으로 해당분야 전문가 그룹의 전문성을 기반으로 작성하였다. 세 결정인자들을 크기

를 합치면 최소 3, 최대 9가 된다(Table 4 참조). 이 합계가 3~4이면 작업위해성 등급은 I, 합계가 5~6은 II, 합계가 7이면 III, 합계가 8~9는 IV로 정하였다. Table 4는 전문가 그룹이 작성한 작업위해성 등급의 한 예이다.

4) 최종 작업위해성 등급의 결정

현장 평가 및 설문조사의 작업위해성 평가 결과 작업형태의 위해정도를 보는 시각이 매우 달랐다. 응답자의 주관적인 시각으로 판단하기 때문에 동일한 작업형태임에도 불구하고 어떤 응답자는 I, 다른 응답자는 IV로 응답하기도 하였다. 따라서 안전 보장을 위해 보수적으로 생각하여 일괄적으로 높은 쪽을 선택하기에는 무리가 있으므로 응답평가점수의 평균값을 사용하였다.

Table 4. Example of workplace exposure risk (WER) by expert group

Process	Work types	Manual demand(A)			Accident frequency(B)			Exposure level(C)			A+B+C 3~9	Risks I, II, III, IV
		1	2	3	1	2	3	1	2	3		
Loading & unloading, transportation	Chemical loading and unloading from tank truck	•			•			•			4	I
	Fluid chemical transfer using electric or pneumatic pump	•			•			•			4	I
	Fluid chemical transfer using hand driven portable pump				•	•				•	7	III
	Transportation of chemicals by public road ways		•		•			•			4	I
	Transportation of chemicals by vehicles within workplace		•		•			•			4	I
	Loading and unloading of chemicals in enclosed containers		•			•				•	7	III
	Loading and unloading of baggage packed chemicals				•	•		•			6	II
Operation	Manual washing of containers		•		•			•			4	I
	Manual washing and treatment of metals				•	•		•			7	III
	Feeding and mixing of liquid chemicals in opened system containers				•	•			•		8	IV
	Cleaning of filter bags and dust filters				•	•			•		7	III
	Cleaning of process equipments(open system)		•		•			•			4	I



**Table 5.** Final workplace exposure risk with work types

Process	Work types	Risks
Loading & unloading, transportation	Chemical loading and unloading from tank truck	III
	Fluid chemical transfer using electric or pneumatic pump	III
	Fluid chemical transfer using hand driven portable pump	II
	Transportation of chemicals by public road ways	II
	Transportation of chemicals by vehicles within workplace	II
	Loading and unloading of chemicals in enclosed containers	I
	Loading and unloading of baggage packed chemicals	I
Operation	Manual washing of containers	IV
	Manual washing and treatment of metals	IV
	Feeding and mixing of liquid chemicals in opened system containers	IV
	Cleaning of filter bags and dust filters	IV
	Cleaning of process equipments(open system)	IV
	Switching of process lines(open system)	IV
	Conveying of product or intermediate products (open system)	III
	Moving of opened containers or chemical container bags within process area	III
	Feeding and mixing of solid chemicals in opened containers	III
	Centrifuge or filter pressing, and drying of solid products(open system)	III
	Cleaning of small spills within process area	III
	Conveying of products in open system (liquid or solid chemicals)	III
	Uploading of solid products in storage area (bulk or bagged)	II
	Sampling within process area	II
	Laboratory tests in fume hood within process area	II
	Feeding and mixing of chemicals within enclosed containers	II
	Centrifuge or filter pressing, and drying of solid (closed system)	II
	Manual moving of enclosed containers within process area	I
	Inspection of liquid transfer equipments	I
	Uploading of enclosed product containers in storage area	I
Waste, disposal	Collection and sorting of waste chemicals	III
	Transportation of chemical wastes within work site	II
	Off-site deporting of chemical wastes	II
	Stacking and storing of chemical wastes within work site	I
Emergency operation	Manhole opening of chemical reactors	IV
	Indoor chemical spills	IV
	Indoor chemical spills from pressurized containers	IV
	Indoor chemical spills from pipings	III
	Outdoor chemical spills from fluid transferring equipments	III
	Outdoor chemical spills from pressurized containers	III
	Outdoor chemical spills from pipings	III
	Indoor chemical spills from atmospheric containers	II
	Outdoor chemical spills from atmospheric containers	II
	Indoor chemical spills from process instruments	II
Outdoor chemical spills from process instruments	II	

**Table 5.** Final workplace exposure risk with work types

Process	Work types	Risks
Maintenance	Maintenance works within enclosed space	IV
	Maintenance works on process equipments in operation	III
	Leak inspection on process equipments in operation	II
	General maintenance works on dissembled equipments	II
	Non-destructive inspection of process equipments	II
	General maintenance works in open space (during shut-down period)	II
Others	Drainage operation	II
	General maintenance	II
	Security inspections around storage area	I
	Cleaning of storage area	I
	General inspection and patrol	I

그 다음 현장 및 설문조사 결과와 이미 결정된 전문가 그룹의 평가결과를 비교하여 작업위해성이 큰 쪽을 통합 작업위해성 등급으로 정하였다. 통합 작업위해성 등급 평가결과는 관련정부기관의 현장방문 실무담당자에게 보내어 다시 한 번 자문을 구하였고 이를 정리하여 '최종 작업위해성 등급'으로 결정하였다. '최종 작업위해성 등급'은 이미 결정된 '물질유해성 등급'과 매트릭스를 만드는데 활용될 것이며 매트릭스의 각 카테고리는 개인보호구의 종류를 결정하는데 사용되어진다. '최종 작업위해성 등급'은 Table 5와 같다.

가장 위해성 높은 IV 등급으로 구분된 작업은 생산운전시 용기세척(개방형), 라인교체작업(개방형) 등 5개, 비상작업시 반응기 해치 개방, 유체이송기기 혹은 용기의 누출(살내) 작업 3개, 유지보수시 밀폐공간 내 진입보수작업 1개로 나타났다. 반면, 가장 위해성이 낮은 I 등급으로 구분되는 작업은 하역 원료 이송시 포대상하차 작업 등 2개, 생산운전시 밀폐제품용기의 창고적재작업 등 3개, 폐기·후 처리시 폐기물 사업장 내 적재 및 보관작업 1개, 기타로는 저장탱크 주변청소 등 3개 작업으로 밝혀졌다.

실제 지금까지의 사고사례분석을 보면 대부분의 사고는 작업위해성이 높은 III, IV 등급에서 발생하였던 점을 고려하면 작업위해성 분석은 적합하다고 판단된다. 작업위해성이 높다는 것은 작업시 위험요인에 노출될 가능성이 높기 때문에 개인보호구의 보호수준은 높아져야 할 것이고 반대로 작업위해성이 낮을수록 보호수준이 낮아져도 무방하다고 할 수

있다. 그렇기 때문에 작업위해성 분석은 개인보호구를 선정함에 있어 매우 중요한 요소이며 '물질유해성'과 함께 앞으로 있을 매트릭스 분석에 활용될 것이다.

#### IV. 결 론

본 연구는 환경부에서 지정한 69종의 유해화학물질인 사고대비물질 취급자를 위한 개인보호구 사용에 관한 고시를 개정하는데 필요한 기초자료를 제공하기 위하여 수행되었다. 이번에 발표한 연구는 개인보호구를 선정하기 앞서 이들 화학물질이 가지고 있는 고유의 '물질유해성'과 작업에 따른 위험성을 평가한 '작업위해성 등급'에 관한 것이다. 이 두 요소는 다음에 발표될 연구에서 매트릭스를 개발하는데 활용되어 개인보호구를 결정하는 근거로 활용될 수 있다.

'물질유해성'은 개인보호구 선정에 필요한 가장 중요한 물질의 특성이 증기압과 흡입독성으로 판단하여 이 두 요소만을 가지고 등급을 유해성이 가장 낮은 I에서 가장 높은 V등급까지 5 등급으로 분류하였다. V 등급의 물질 중에서는 현재의 흡착기술로는 흡착효과를 기대하기 어려워 결국 송기마스크나 공기호흡기를 착용해야만 하는 물질이 다수 포함되어 있었다. '작업위해성'은 가장 위험성이 낮은 I 등급에서 가장 높은 IV 등급 까지 4단계로 구분하였는데 지금까지 사고사례를 분석해 본 결과 대부분이 III, IV 등급에서 발생하였다. 따라서 물질유해성이

나 작업위해성의 등급 분류는 적절하였다고 판단되며 개인보호구를 선정하는데 중요하게 사용될 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 정부의 재원으로 한국환경산업기술원의 지원을 받아 수행된 ‘화학사고 및 환경오염 안전대피 보호장비 및 성능기준개발’(RE201506052)의 일환으로 수행되었으며 재정지원에 감사드립니다.

### References

1. National Institute of Chemical Safety. Chemistry Safety Cleaning-house. Available: <http://csc.me.go.kr/statis/occTypeStatisPList.do> [accessed 16 August 2016].
2. Wikimedia Foundation, Inc. Available: <https://ko.wikipedia.org/wiki/2012> [accessed 16 August 2016].
3. Ministry of Environment (ME). Chemicals Control Acts, Act 13890. 2016.
4. Ministry of Environment (ME). Regulation of personal protective equipments (PPE) for workers handling hazardous chemicals, ME Notice 2014-259. 2014.
5. Jörg Steinbach. Safety assessment for chemical processes. Berlin: Wiley VCH; 1999. p.11-21.
6. National Institute of Environmental Research (NIER). Key Info Guide. 2012.
7. Reid RC, Prausnitz JM, Sherwood TK. The properties of gases and liquids, 3<sup>rd</sup> ed. North Miami Beach: McGraw-Hill; 1977. p.184.
8. International Labor Organization(ILO). IOMC/GHS Draft integrated proposal, Chapter 5 Acute toxicity, Available: <http://www.ilo.org/legacy/english/protection/safework/ghs/ghsfinal/ghsc05.pdf>, [accessed 19 February 2016]. p.2-9.
9. US EPA. RMP Guidance Appendix A, 40 CFR PART 68A, Chemical accident prevention provisions. 1997. p.34.
10. National Fire Protection Association (NFPA). NFPA 704, Standard system for identification of the hazards of materials for emergency response. 2012
11. Carson PA, Mumford CJ. The safe handling of chemicals in industry, 1st ed. New York: Longman Scientific and Technical; 1988. p.105-110.