

유해화학물질을 취급하는 실내시설에서의 인화폭발성에 따른 적정 환기량 산정에 대한 연구

A Study on How to Evaluate Appropriate Ventilation Rate of Indoor Facility Handling Hazardous Substances by Their Flammable and Explosive Properties

박만수¹ · 서청민² · 윤효섭³ · 박교식^{4*}

Mansu Park¹, Cheong-Min Seo², Hyo-Soub Yoon³, Kyoshik Park^{4*}

¹Ph.D Student, Department of Safety & Health Convergence Engineering, Soongsil University, Seoul, Republic of Korea

²Ph.D, Korea Environment & Safety Technology Co. Ltd, Seoul, Republic of Korea

³Ph.D Student, Department of Safety & Health Convergence Engineering, Soongsil University, Seoul, Republic of Korea

⁴Professor, Department of Safety & Health Convergence Engineering, Soongsil University, Seoul, Republic of Korea

*Corresponding author: Kyoshik Park, safetyguy@ssu.ac.kr

ABSTRACT

Purpose: Ministry of Environment statistics reveals more than 132 fire-explosion accidents in South Korea between 2014 and 2023. Among them, fire and/or explosion accidents are very impactful in their scale and consequence. This study aims to suggest a new method of reasonable way to calculate the ventilation rate of indoor facility handling hazardous chemicals based on their inflammability.

Method: A new method to calculate the ventilation rate is based on the physicochemical properties of the chemicals handled, which is more reasonable compared with the current regulation based only on the floor area of the facility. **Result:** Considering the physicochemical properties, 178 chemicals based on their inflammability were studied and 168(94%) met the criteria for the current regulation. Some materials have been shown to require too much or too little ventilation rate. **Conclusion:** Through this study, a reasonable method of calculating the required ventilation rate was proposed. This should be applied to ensure the safety of workers to deal chemicals.

Keywords: Hazardous chemicals, Inflammability, Explosion, Ventilation rate, Indoor facility

Received | 28 February, 2024

Revised | 8 April, 2024

Accepted | 16 April, 2024

 OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in anymedium, provided the original work is properly cited.

© Society of Disaster Information All rights reserved.

요약

연구목적: 환경부 통계에 의하면 2014년부터 2023년까지 국내 화재·폭발사고가 132건 이상에 이르는 것을 알 수 있다. 이중 화재·폭발사고는 발생 시 규모나 영향이 상대적으로 매우 커서 주의가 필요하다. 본 연구에서는 인화성의 유해화학물질 취급 시 실내 취급시설의 적정 환기율을 계산하는 새로운 합리적인 방법을 제안하였다. **연구방법:** 취급시설의 바닥면적만을 기준으로 한 현행 화학물질관리법 상 계산방법과 비교하여 보다 합리적인 새로운 방법은 취급하는 유해화학물질의 물리화학적 특성을 기반으로 계산하는 방법이다. **연구결과:** 물리화학적 특성을 고려하여 계산한 결과 인화성물질 178종 중 168종인 약 94%가 환기량 기준에 적합하였다. 그러나 일부 물질은 과소환기 및 과대환기를 요구하는 것으로 나타났다. **결론:** 본 연구를 통해 합리적인 필요환기량 산정방법을 제안하였고 이를 통해 근로자의 안전을 확보하고 생명을 보호해야 할 것이다.

핵심용어: 유해화학물질, 폭발, 필요환기량, 인화성, 환기율, 실내시설

서론

연구배경 및 목적

대한민국의 화학산업은 핵심 기간산업으로 생산량은 세계 5위의 규모이고 약 12만명이 종사하고 있으며, 효율화를 위해 산업 단지는 대산, 여수, 울산에 위치한다. 1960~1970년대에 지어진 대규모 화학산업 시설의 경우 오래전에 조성이 된 만큼 많은 부분이 낡아 화재·폭발·누출사고의 우려가 있으며, 특히 화재·폭발에 의한 위험의 경우 재산상에 큰 손실을 유발한다. 환경부 화학물질종합정보시스템(<https://icis.me.go.kr>)으로 알 수 있는 사고사례를 종합한 통계인 Table 1에 따르면 우리나라의 화학산업현장에서 최근 9년 동안 화재·폭발·누출사고의 발생건수는 총 754건이고, 그 중 화재·폭발사고는 114건으로 약 15% 가량이 해당된다(Ministry of Environment, 2021).

화학단지의 작업 공간에서 발생하는 화학·폭발 사고는 누출에 비하면 적은 비율을 차지하지만 사고 발생 시 재산상에 큰 손실을 유발하여 언론에 심각하게 보도된다. 또한 누출사고의 경우 발생한 누출가스로부터 화재·폭발사고 연계할 가능성이 있어 각별한 주의가 필요하다. 2023년 12월 12일에 경기도의 제조업체에서 발생한 화재사고를 보면 자동차 변속기용 마찰재의 원료인 카본가루와 메틸알코올(99.5%)을 혼합기에서 전동드릴로 교반하던 중 스파크에 의해 화재사고가 발생했고, 2023년 11월 15일에 충청남도의 한 연구소에서 발생한 화재사고를 보면 반도체 재료인 물질에 메탄올을 투입하여 불순물을 제거하던 중 화재가 발생하였으며 화재발생 후 30분 후 사업장으로부터 70m, 90m, 190m 거리에 있는 우수관의 맨홀이 차례로 폭발하였다. 같은 날 경상북도 한 화학제조업에서는 도료제조공정에서 조정기에 배합이 완료된 원료를 교반하는 과정에서 유증기가 화재·폭발하여 작업중이던 근로자 1명이 부상이 입는 사고 또한 발생하였다(Ministry of Environment, 2023). 이와 같은 피해를 예방하기 위해 적절한 환기를 통하여 취급시설의 유해화학물질의 폭발농도를 인화하한값(LFL)이하로 유지할 필요성이 있다.

Table 1. Chemical accident of indoor facility in Korea between 2015 and 2023

구분	화재	폭발	누출	기타	계
2023	15	7	91	2	115
2022	7	6	51	3	67
2021	3	9	78	3	93
2020	6	4	63	2	75
2019	0	2	48	8	58
2018	4	0	60	2	66
2017	4	7	75	2	88
2016	7	11	58	2	78
2015	11	11	78	14	114
계(건수)	57	57	602	38	754
비율(%)	7.5	7.5	80	5	100

인화성 가스·액체를 취급하는 실내시설에서는 이들에 의한 화재 및 폭발의 위험성이 있으므로 취급 시 환기설비의 적정 설치여부, 안전기준 준수 등 상당한 관리가 필요하다. 환경부의 유해화학물질 실내 보관시설 설치 및 관리에 관한 고시에서

는 화재·폭발·누출사고를 예방하기 위해 환기 및 배출설비 설치 등 공학적 조치를 규정하고 있다.¹⁾

현재의 화학물질관리법 중 환기 및 배출설비는 소방관련 법규인 위험물안전관리법에서 설치기준에 근간을 두고 필요한 기량인 환기기준이 실내 바닥면적만을 고려하고 있어 일부 물질의 경우 과소·과대환기가 이뤄지는 것을 알 수 있으며 이는 화재·폭발사고를 유발 및 에너지를 낭비하는 원인이 될 수 있다. 따라서 취급하는 화학물질의 증기압 등 물리화학적 특성이 나, 취급량 등이 고려된, 보다 합리적인 환기량 산정방법으로 화재·폭발사고를 효율적으로 예방할 필요가 있다.

연구방법 및 절차

본 연구에서는 화학물질 취급 시 화재·폭발사고를 방지하기 위해 실내 화학물질 취급시설의 환기량을 합리적으로 산정하는 방법을 제시하고자 한다. 연구방법은 화학물질관리법에서 규정하는 환기기준과 취급 화학물질의 물리·화학적 특성이 고려된, 보다 합리적인 배출량을 산정한 결과를 비교하여 보다 합리적인 방안을 제시하는 것이다. 화학물질관리법에서는 산업안전보건기준에 관한 규칙과 달리 환기와 배출설비에 대한 의미를 달리하고 있다. 배출설비 중 전역방식일 경우 바닥면적(m^2)/시간(h)에 18을 곱하여 환산하며, 국소방식일 경우는 부피의 20배 이상을 곱해 배출용량을 산정한다. 그리고 강제배출식의 설비는 전역방식과 국소방식 할 것 없이 현장에서 발생하는 유증기, 취급 물질량, 해당 건물의 높이 등이 고려되지 않아 제조, 보관 등 화학물질 취급 시 인화성 증기 등을 희석하기 위한 적절한 배출량이 고려되지 않는다는 문제점이 있다. 산업안전보건법에서의 환기량 관련 계산방법은 물질수지식을 기반으로 한 Daniel A. Crowl의 환기량 관련 계산방법의 주요인자가 반영되어 있다.²⁾ 본 연구에서는 관련된 선행연구를 통해 조사하고 이를 바탕으로 환기 및 배출기준 등에 관련된 법규를 검토하며³⁾ 그 결과를 계산 및 활용하여 화학물질을 취급하는 사업장에 대한 환기설비를 공학적으로 고찰하였다. 그리고 배기·환기설비 관련 현황 파악 및 문제점을 발견하고 사고예방을 위한 합리화 방안을 제시하였다.

연구의 범위

화학물질관리법에서는 2023년 8월 기준의 유해화학물질 1,439종을 규정하고 있으며 본 연구에서는 이들 대상 중에서 물리화학적 특성을 고려하여 환기량이 적정한지를 확인가능한 178종의 인화성물질을 선별하였다. 화학물질관리법에서는 필요환기량 계산시 바닥면적만을 고려하지만 본 연구에서는 선정된 178종의 유해화학물질을 실내에서 취급할 경우의 환기량을 단위부피당 농도 및 증발 등이 고려된 Daniel A. Crowl의 환기량 관련 계산방법을 적용하여 분석하고자 한다. 현재 국내·외에서 실내 취급 시설에서의 화학물질 규모·사용량 등에 따른 통계적 확인이 불가하여서 적정 환기량 계산을 위해 적절한 공학적 가정을 하였다.

이론적 배경 및 선행연구

이론적 배경

화학물질관리법에서의 유해화학물질의 정의

유해화학물질의 경우 대통령령으로 정하는 기준에 따라 유독물질, 허가물질, 제한물질, 금지물질, 사고대비물질로 대통령

1) Ordinance by the Ministry of Environment. (2021). Enforcement Rule of The Chemical Substances Control Act.

2) Daniel A. Crowl, (2019). Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications.

3) KOSHA, (2019). Technical Guidelines for Industrial Ventilation Facilities, W-1-2019.

령으로 정하는 기준에 따라 나뉜다. 그 중 유독물질이란 환경부장관이 고시한 유해성이 있는 화학물질이다. 허가물질은 환경부장관의 허가가 필요하고 이를 통해 제조, 수입, 사용하며 관계중앙행정기관의 장과의 협의와 화학물질의 등록 및 평가에 관한 법률 제7조에 따라 화학물질평가위원회의 심의를 거쳐 고시되며 위해성이 우려되는 물질이다. 제한물질은 특정한 상황에서 위해성이 크다고 인정되는 화학물질로 특정한 상황에서의 제조·보관·운반·저장 등의 사용을 금지하기 위해 환경부장관과 관계중앙행정기관의 장과의 협의와 화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률 제7조에 따른 화학물질평가위원회의 심의를 거쳐 고시된다. 금지물질이란 위해성이 큰 화학물질로서 모든 상황에서의 제조 및 보관 등의 취급을 금지하기 위해 환경부장관과 관계중앙행정기관의 장과의 협의와 화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률 제7조에 따른 화학물질평가위원회의 심의를 거쳐 고시된다. 사고대비물질은 급성독성 및 폭발성 등이 있어 사고 발생가능성이 높은 화학물질과 사고 발생 시 그 피해가 큰 화학물질로 사고에 대한 대비가 필요하며 화학물질관리법 제49조에 따라 환경부장관이 지정하고 고시한다. Fig. 1에 유해화학물질의 분류 및 규정수량에 대한 설명이 정리되어 있다.

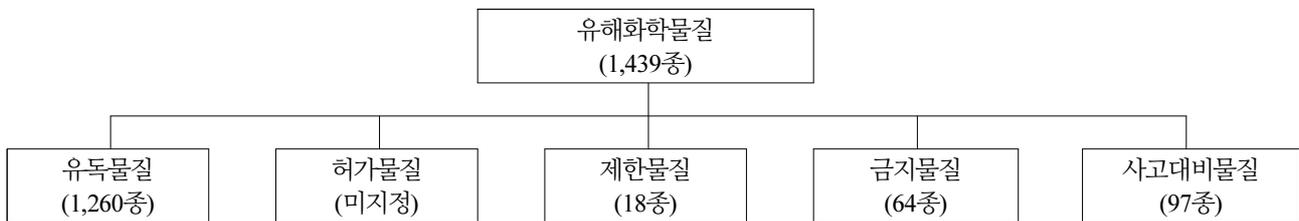


Fig. 1. Classification of hazardous chemicals

유해화학물질의 특성

유해화학물질은 상이 고체, 액체, 기체로 온도와 압력에 따라 성상이 변하기도 하며 액체일 경우 특히 기화하려는 성질을 가지고 있다. 이러한 현상을 증발이라고 하며 증기로 기화된 분자들의 운동에 의한 압력을 증기압이라고 한다. 대부분의 화학물질은 높은 증기압을 가지고 있어 증발이 쉽게 이루어지며 일반적으로 이러한 증기는 비중이 공기보다 높다. 열역학 제 2 법칙에 따라 공기와 혼합되고 농도에 따라 이동하며 희석되는 현상을 확산이라고 한다.

환기의 개념

환기란 실내의 오염공기를 배출하고 외부의 공기를 순환시켜 실내의 공기를 희석하기 위해 제어하는 과정이다. 목적은 작업 시 발생하는 분진 및 유해가스 등에 실내공기질이 저하되는 것을 방지하고 실내 산소농도 감소로 인한 근로자의 보건에 대한 유해성을 방지하는 것이며 이렇게 사람을 대상으로 하는 것을 쾌적환기라고 한다. 또한 공장 및 창고 등의 현장에서 생산품의 품질, 공정관리 등 먼지, 냄새, 열 등의 공기악화에 따른 생산품, 설비의 훼손을 방지하기 위한 것을 산업환기라고 한다.⁴⁾

선행연구

유해화학물질의 사고 방지에 대한 연구는 다수 지속되어 왔다. 이 중 실내에서 취급되는 인화성물질의 필요환기량에 대한 부분을 물질수지를 적용한 산업안전보건법 등에서 검증된 방법을 고려하여 실내 취급시설 내 인화폭발성 화학물질의 적정

4) Han, D. H.(2020). "New industrial ventilation engineering tailored to new laws and technologies".

환기량 산정에 대한 연구 및 제안을 하고자 한다. 산업안전보건법의 산업안전보건 기준에 관한 규칙에 따르면 환기와 배출을 통틀어 환기라는 의미로 사용하고 있고 환기 영역에 따라 전체환기 및 국소환기로 구별하고 있으며 배풍기 및 공기정화장치 등을 설명하여 환기설비 설치의 이해를 돕고 있다. 이때, 화재·폭발예방에 관련된 수식은 분자량, 인화하한값, 비중 등 물리·화학적 특성을 고려된 식으로 화학물질관리법 상의 환경부 산정식과 차이가 있다.

환기 및 배출기준은 화학물질관리법이 소방관계 법규인 위험물안전관리법을 기반으로 하여 제정되어 바닥면적에 따른 환기량 산정, 급기구 설치 및 배기구 설치기준, 바닥면적 및 취급용량에 따른 배출량 산정방식 등이 유사하다. 단지 급기구의 인화방지망 설치기준, 바닥면의 구배 기준은 화학물질 관리법에 생략된 것이 차이점이다. 따라서 안전보건공단의 KOSHA Guide (W-1-2014) “산업환기설비에 관한 기술지침”에서 활용 중인 환기량 관련 산정방식을 고려할 필요가 있으며 인화성의 방폭을 위한 환기량의 LFL은 vol%를 사용한다.

환경부 화학물질종합정보시스템(<https://icis.me.go.kr>)의 통계에는 아직 취급물질이나 취급시설의 분류별 종류, 규모 등에 대한 통계적자료가 없으므로 환기량 산정을 위해 적절한 공학적 가정의 도입이 필요하며 이 가정에 따라 인화·폭발성에 대하여 환기량을 계산한다.

환기량 비교분석 및 계산

환기량 관련 법령 적용 현황 비교

화학물질관리법에서는 환기량을 선정함에 있어 화재 및 폭발사고 예방에 초점이 맞춰져 있고 산업안전보건법의 경우 화재·폭발사고 예방에 관한 부분과 근로자 건강 및 보건관리에 대한 부분을 분리하여 기준을 마련하였으며 타법에서도 물질의 특성과 양, 독성허용기준 등을 고려하여 근로자의 보건관리를 우선시한 기준이 반영되어 있다. 또한 산업안전보건법은 배출과 환기를 하나의 의미로 사용하고 있지만 화학물질관리법에서는 환기와 배출의 용어 정의를 별도로 분리하고 있다. 하지만 현장 적용에 있어 큰 차이가 없으며 타법에서는 급기팬, 배기팬 설치 여부에 따라 환기 방식을 제1~3종으로 구분하는 정도이다. 화학물질관리법에서는 급배기장치를 설치 시 실내 바닥면적과 크기, 배기구의 배치 등을 수치로 정하였으며 이는 위험물 안전관리법에서의 배출기준과 매우 유사하다. 타법의 경우 구체적인 수치를 규정하지 않고 있으며 일부 법규에서 급배기장치의 위치만 언급되고 있다.

환기량 설정에 따른 계산식

인화성물질 취급 시 물리화학적 특성을 고려한 계산식

유해화학물질은 인화성으로 인해 화재 및 폭발의 위험성을 가지고 있고 적절한 환기량을 산정·적용해야 사고를 예방할 수 있다. 인화성 물질의 환기량을 계산할 때는 화학물질의 특성 중 인화하한값인 LFL 이하로 유지되도록 계산되어 현장에 적용되어야 한다. 즉, 환기량의 경우 대기 중 인화성증기가 존재하더라도 매 시간당 적정 이상의 신선한 공기를 급기하여 희석함으로써 인화하한값 이하로 유지하여 화재 및 폭발사고를 예방할 수 있도록 산정하여야 한다. Eqn(1)⁵⁾에 인화성 물질 취급 시 계산식을 나타내었다.

5) KOSHA, Technical Guidelines for Industrial Ventilation Facilities, W-1-2019.

$$Q = \frac{24.1 \times S \times G \times S_f \times 100}{LFL(\text{인화하한값}) \times B \times M} \tag{1}$$

Q : 필요환기량(m^3/h)

S : 비중

G : 해당 물질의 시간당 사용량(L/h)

S_f : 안전계수(연속공정:4, 회분식공정:10~12)

M : 분자량(g)

LFL : 인화하한값(%)

B : 온도상수(121°C 이하: 1, 121°C 초과: 0.7)

물리화학적 특성을 고려한 환기량 설정 방안

환기량의 경우 해당 물질의 물리화학적 특성인 인화성, 증기압 등과 취급량을 고려하여 환기량을 설정해야 하며 두가지 이상의 물질이 같은 공간에서 취급할 경우 산술적으로 합하여 계산하는 것으로 간주하였다. 화학물질관리법에 의한 유해화학물질은 2023년도 기준 1,439종으로 전체종을 대상으로 실내에서 유해화학물질을 취급할 경우의 환기량이 적합하지 계산 분석하고자 한다. 환기량 계산 시 실내 온도 21°C에서 해당 물질의 자연증발을 할 경우 시간당 증기의 발생량을 계산하기 위해 해당 물질의 물분율은 1, 화학물질이 담겨 있는 철 드럼(200리터) 1개, 드럼의 담긴 액체의 표면적은 0.29m², 실내 풍속은 0.5m/s, 연가동시간은 300일 기준으로 2400시간, 실내의 바닥은 500m², 연간 혼합하는 횟수는 연52회(1회/주)로 기준을 마련하였다.

환경부의 화학물질 배출량조사 지침⁶⁾에 따라 자연증발 시 가스 발생량 E_x (kg/h) 산정을 위한 계산식(Ministry of Environment, 2022)은 아래와 같다.

$$E_x = [(x \times M_x \times K_x \times A \times P_x \times 3600 \times 2400) \div (R \times T)] \times B$$

x : 액상에서의 대상 화학물질 X의 물분율(0~1)

B : 연간 혼합 회수 [회수/년]

M_x : 대상 화학물질의 분자량 [kg/kg-mole]

A : 유체의 표면적 [m²]

P_x : 액체의 온도 T에서의 증기압(혼합물질의 경우 해당 물질의 부분압)

H : 공정 1회의 시간 [시간/batch]

K_x : 대상 화학물질의 기상 물질 전달계수 [m/s]

R : 기체상수 = 8.314 [kPa· m³· k/kg-mol]

T : 해당 액체의 온도 [K]

K_x : 기상물질의 전달계수 = 0.0011 $U^{0.78} D^{2/3}$

6) The Ministry of Environment. (2022). Technical Guidelines for The Chemical Substances Emissions, pp. 96-99.

D : 대기 중 해당 물질에 대한 확산계수 [cm^3/s] (찾을 수 없는 경우 $D = 0.288 \times \sqrt{\frac{18}{M}}$)

U : 풍속 [km/hr]

환기량이 적정한지 여부를 확인 가능한 인화성 물질은 대상물질 1,439종 중에서 178종(12.4%)정도이며 새로운 방법으로 계산한 결과 화학물질관리법에서의 환기량 기준을 만족하는 인화성 물질은 168종(94%)으로 도출되었다.

물리화학적 특성을 고려한 환기량 계산 예시

화학물질정보종합시스템에 통계상 누출사고 빈도가 많은 물질은 톨루엔, 암모니아 등이었으며 이 중 암모니아를 대상으로 계산방식을 비교 설명하고자 한다.

실내 취급물질 및 발생 조건

- 암모니아(M.W 17.03, LFL 15%) 시간당 3.61kg의 증기 발생
- 실내작업장 구조: 바닥면적 $500m^2$, 높이 8m, 용적(500×8) $4,000m^3$ 로 가정

화학물질관리법의 환기량 계산

- 환기량 계산식: $\text{바닥면적}(m^2) \div 18m^3/m^2 \cdot h$
- 급기구 면적: $800cm^2$ /개 이상
- 급기구 개수: $\frac{\text{바닥면적}}{150} = 3.3$, 즉 4개
- 환기량(전역): $500 \times 18 = 9,000m^3/h$

물리화학적 특성을 고려한 환기량 계산

- 환기량 계산식: $Q = \frac{24.1 \times S \times G \times S_f \times 100}{LFL(\text{인화하한값}) \times B \times M} = \frac{24.1 \times 3.61 \times 10 \times 100}{15 \times 1 \times 17.03} = 341m^3/h$
- S : 비중
- G : 해당물질의 시간당 사용량(L/h)
- S_f : 안전계수(연속공정:4, 회분식공정:10~12)
- M : 분자량(g)
- LFL : 인화하한값(%)
- B : 온도상수 (121°C 이하: 1, 121°C 초과: 0.7)

결과값을 보면 외부의 신선한 공기를 $341m^3/h$ 를 공급하면 인화하한계 15% 이하로 유지할 수 있음을 보여준다. 즉, 암모니아를 대상으로 화학물질관리법의 계산식을 적용하면 $9,000m^3/h$ 의 환기량이 필요하나 물성을 고려한 새로운 기준을 적용한 결과 약 0.04배에 해당하는 것으로 나타났다. 또 다른 인화성 물질인 포스핀을 대상으로 현행 적용되는 화학물질관리법으

로 계산할 경우 $9,000m^3/h$ 의 환기량이 필요하였고 물성을 고려한 새로운 방식을 적용한 결과는 $268,256m^3/h$ 로 계산이 되었으며 이는 현재의 기준에 비해 약 30배에 해당된다.

위 계산결과에 따르면 동일한 공간이더라도 취급하는 대상물질의 종류에 따라 물리화학적 특성인 증기압, 취급량 등에 따른 필요환기량이 모두 다르므로, 바닥면적만을 고려한 현행 화학물질관리법의 계산법을 개선하여 보다 합리적으로 환기량을 설정할 필요가 있다는 것을 보여준다. 환기량에 영향을 미치는 인자로는 물질의 비중, 증기압, 분자량, 인화하한값(LFL) 등이 있으며 분자량이 작거나 증기압이 클수록, 인화하한값(LFL)이 작을수록, 필요 환기량이 증가한다. 즉, 증기압이 높은 물질의 경우 현행 법규보다 환기량이 더 요구되며, 증기압이 낮은 물질에 대해서는 환기량이 과다하게 책정되는 등 불합리함이 있으므로 이를 해소할 수 있도록 제도가 운영되어야 할 것이다. Table 2에서는 유해화학물질 1,439종 중 계산에 필요한 물성을 나와있는 178종을 대상으로 현행 화학물질관리법과 새로운 방법으로 계산된 값의 환기량 비를 나타내었다. 178종 중 168종인 94%가 환기량 기준에 적합하였으므로 미루어 새로운 계산방법에 큰 문제가 없는 것으로 나타났다. 단, 디부틸프탈레이트와 같이 현행법의 계산방식의 필요량의 약 1,000배의 환기량의 필요한 인화성물질도 있었고 반대로 아닐린, 포르말린과 같이 현행법의 필요량의 약 1/1,000배의 환기량이 필요한 인화성 물질이 있었다. 구체적으로 환기량 비가 1/10 이하인 톨루엔, 벤젠, 포르말린 등 124종 물질을 다루는 실내설비는 과대환기가 행하여 지고 있으며 10배 이상인 포스핀, 디부틸프탈레이트의 2개 물질을 다루는 실내설비는 안전을 확보하기 위한 조치가 더욱 필요함을 알 수 있었다.

Table 2. Ratio of ventilation requirement

인화성 물질	환기량 비(Ratio)							계 (종)
	10^{-3} 이하	$10^{-3}\sim 10^{-2}$	$10^{-2}\sim 10^{-1}$	$10^{-1}\sim 1$	1~10	10~100	100~1,000	
물질 수	49	29	46	44	8	1	1	
계	168			10				178
예	아닐린, 포르말린	아크릴산, 니트로-벤젠	메틸-알코올, 톨루엔	벤젠, 니켈- 카르보닐	황화수소, 일산화탄소	포스핀	디부틸- 프탈레이트	

결론

산업현장에서 유해화학물질은 많은 양이 사용되고 있고 화재·폭발·누출(독성)의 위험성이 있으므로 환경부에서는 화학물질관리법을 제정하여 엄격하게 관리하고 있다. 하지만 필요 환기량의 경우 화학물질 관리법의 기준보다 더욱 합리적이고 구체적인 환기량 산정방식을 도입하여 근로자로부터 화재·폭발 위험성으로부터 보호할 필요가 있으며 본 연구에서는 이를 위한 보다 합리적인 환기량 산정방법을 제안하였다.

물질수지식에서 유도된 화학물질의 농도를 계산한 식을 이용하여 인화성물질의 적정농도를 계산한 결과를 현재의 기준인 취급시설 바닥면적 기준식과 비교하여 보았다. 그 결과 관련 데이터가 확보된 178종의 물질 중 94%의 인화성 물질이 현재의 환기기준을 만족하였다. 이로 미루어 새로운 방식을 적용하기 위하여 연구자가 세운 공학적인 가정은 어느 정도 합리성을 확보하였다고 볼 수 있다.

다음, Table 2에서 보이듯이 톨루엔, 벤젠, 포르말린 등 환기량의 비가 1/10 이하인 물질이 124종이나 되었고 이들에 대해서는 과다한 환기가 이루어지고 있음을 합리적으로 추론할 수 있으며 이 경우 에너지나 공간 등에서 큰 낭비요소가 발생하여

불합리한 것으로 판단된다. 반면 포스핀이나 디부틸프탈레이트 등은 필요환기량이 기존 법규의 수십~수백배가 되어서 이들 2종의 물질을 다루는 실내설비에는 추가로 국소배기설비나 방폭설비를 도입하는 등의 개선조치가 필요한 것으로 판단된다.

이들 화학물질을 취급함에 있어서 물질의 특성을 반영한 방법으로 환기량을 산정하게 되면 최소량에 비하여 최대량은 수십만배까지 차이가 나므로 취급시 환기방법이나 안전 설비를 취급물질에 따라 다르게 할 필요가 있다. 즉 현행 법규는 단지 취급시설의 실내 바닥 면적만을 기준으로 환기량을 규정하고 있어서 이에 대한 보완이 시급하다고 하겠다. 취급 시설 현장에서는 물질의 특성에 대한 고려 없이 시설 자체의 기준으로 보관·처리하고 있으며 그나마 체계적으로 하는 사업장도 1류~6류 정도의 구분으로 취급하는 실정이다. 이에 대하여 새로운 산정법을 적용할 경우 화학물질을 보관할 때 현행규정에 대비하여 환기량비가 1 미만인 물질에 대해서는 현행대로 시행하고 환기량비율이 1이상일 경우에는 위의 경우와는 별도의 장소에 보관하여 국소배기설비를 추가하고 방폭설비를 대폭 강화하는 등의 추가 조치가 필요하다고 본다. 또한 보다 정확하고 논리적인 법규의 수립·이행을 위하여 아직까지 국내·외에서 실내 취급시설에서의 시설규모·화학물질 종류 및 사용량 등에 따른 통계의 확인이 불가하므로 국가차원에서 관련 통계확보의 노력이 필요하다.

References

- [1] Daniel, A.C. (2019). *Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications*. Pearson Education, England.
- [2] Kim, Y.S. (2016). *A Study on the Characteristics of the Natural Ventilators*. Ph.D. Dissertation, Gyeongsang National University.
- [3] Koh, J.S. (2019). "Study on the risk of flammability & combustion of liquid mixtures such as alcohols." *Journal of the Society of Disaster Information*, Vol. 15, No. 4, pp. 634-647.
- [4] Lee, J.C. (2022). "A study on the improvement of the system to reduce damage on ammonia chemical accident." *Journal of the Society of Disaster Information*, Vol. 18, No. 2, pp. 306-313.
- [5] Ministry of Employment and Labor (2023). *Enforcement Rule of The Occupational Safety and Health Standards*.
- [6] Ministry of Environment (2021). *Enforcement Rule of The Chemical Substances Control Act*.
- [7] Ministry of Environment (2022). *Technical Guidelines for The Chemical Substances Emissions*. pp. 96-99.
- [8] National Institute of Chemical Safety (2023). *Installation and Management of Indoor Storage Facilities for Hazardous Chemicals, Attached Form 1*, Cheongju.
- [9] Park, K. (2017). "Offsite risk assessment on toxic release." *Journal of the Korean Institute of Gas*, Vol. 21, No. 3, pp. 9-16.
- [10] Seo, C.M. (2023). *The Improvement of Ventilation and Exhaust Standards on Indoors Storage Handling Hazardous Chemicals*, Ph.D. Dissertation, Soongsil University.