

천연물합성 실험에서 유기화합물의 작업환경 노출수준에 관한 연구

임현종, 조규선*
호서대학교 안전행정공학과

A Study on the Exposure Level of Organic Compounds in the Working Environment in Natural Product Synthesis Experiments

Hyun-Jong Yim, Guy-Sun Cho*
Department of Safety Administration Engineering, Hoseo University

요약 본 연구의 목적은 연구실에서 다양한 화학물질을 취급하는 연구활동종사자의 건강에 영향을 미칠 수 있는 유기화합물 노출경로와 노출량을 파악하고 연구활동종사자의 화학물질 노출평가 제도의 개선방안을 제시하는 것이다. 본 연구의 유기화합물의 노출도 평가는 산업안전보건법에 따라 작업환경측정을 적용하였으나, 연구실에서 연구개발활동 중에는 화학물질이 단시간에 집중적으로 노출되는 환경이라는 점을 고려하여 단시간노출기준(STEL)을 병행하여 측정·비교하였다. 측정은 유기화합물을 취급하는 연구실의 연구개발활동을 대상으로 예비조사, 작업환경측정, 결과분석의 순서로 진행하였다. 시간가중평균노출기준(TWA)과 단시간노출기준(STEL)의 측정결과는 고용노동부의 화학물질 노출기준 미만의 수치를 나타냈으나, 발암성물질로 분류되어 있는 Chloroform이 노출 기준치의 29.7% 수준으로 검출되었다. 본 연구를 통해 연구실에서 연구개발활동 중 유기화합물의 노출수준과 특성을 파악하고 개선방안을 제시하여 연구활동종사자가 화학물질에 노출되는 것을 최소화하는데 기여하고자 한다.

Abstract This study examined the exposure routes and levels of organic compounds that may affect the health of research activity workers handling various chemicals in the laboratory to propose ways to improve the chemical exposure assessment system for research activity workers. The assessment of exposure to organic compounds in this study was conducted using workplace measurements according to the Industrial Safety and Health Act, but considering that the research environment is an environment where chemicals are intensely exposed for a short period, short-term exposure limits (STEL) were also measured and compared. The measurement was conducted in the order of preliminary investigation, workplace measurement, and result analysis, targeting research and development activities in laboratories handling organic compounds. The measurement results for the time-weighted average exposure limit (TWA) and short-term exposure limit (STEL) were below the chemical exposure limit standards set by the Ministry of Employment and Labor, but chloroform, which is classified as carcinogenic, was detected at 29.7% of the exposure limit. This study aimed to identify the levels and characteristics of organic compound exposure during research and development activities in the laboratory to propose ways to minimize the exposure of research activity workers to chemicals.

Keywords : Chemistry Laboratory, Organic Compounds, Exposure Assessment, TWA, STEL

본 연구는 환경부의 '화학물질안전관리 전문인력 양성사업'의 지원으로 진행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

*Corresponding Author : Guy-Sun Cho(Hoseo Univ.)

email: cho1395@hoseo.edu

Received March 22, 2023

Revised April 24, 2023

Accepted May 12, 2023

Published May 31, 2023

1. 서론

새로운 기술을 개발하기 위해 연구실에서 유해·위험성이 높은 화학물질을 취급하거나 유해·위험성이 밝혀지지 않는 화학물질을 취급하는 경우도 있어 연구실에서 화학물질의 노출은 연구활동종사자의 건강장해를 일으킬 수 있는 매우 중요한 문제이다. 더욱이 연구실은 연구활동종사자가 직접 화학물질의 계량, 합성, 반응, 제거 등의 모든 행위가 수 조작으로 행해지고 있어 다양한 경로로 화학물질에 노출될 가능성이 높다[1]. 해외사례를 살펴보면 Carpenter(1991), Kauppinene(2003), David (2013)는 화학물질을 취급한 연구활동종사자들에게 흉막암, 방광암, 백혈병, 위장암 등의 암 발생 위험이 일반인에 비해 높다고 보고하였다[2-4]. 또한, Dement(1992)와 Axelsson(1984)은 연구활동종사자가 화학물질 취급으로 인한 난임, 유산, 기형 등과의 상관관계가 있다고 보고하였다[5,6]. 연구실에서 취급하는 화학물질 중에는 CMR(Carcinogenic, Mutagenic, Reprotoxic) 물질이 포함되어 있고 CMR 물질의 취급 중 호흡기, 피부 등에 노출되어 암 발병률과 사망위험이 일반인에 비해 높게 나타나고 있는 것은 기존 연구를 통해 확인할 수 있다. 대량의 화학물질을 사용하는 제조업의 경우에는 비교적 짧은 시간에 화학물질로 인한 직업병이 발병할 수 있는 확률이 높지만, 연구실의 경우에는 소량의 다양한 화학물질에 장기간 노출되다 보니 화학물질과 직업병 발병의 인과관계를 증명하기는 매우 어려운 일이다. 이러한 이유로 화학물질을 취급하는 연구실 환경을 지속적으로 화학물질의 노출도를 측정하고 관찰하여 이를 개선할 수 있는 방향을 모색하는 것은 중요한 과제이다.

연구실에서 생활하는 연구활동종사자는 그 생활이 매우 불규칙적이다. 연구실에서는 화학물질, 생물체 등의 다양한 유해인자를 취급하여 연구개발활동을 하는 경우도 있지만 유해인자를 전혀 취급하지 않는 날도 많다. 또한, 항상 동일한 연구개발활동이 진행되는 것이 아니라 연구과제, 연구주제 등이 변경될 때마다 새로운 화학물질, 생물체 등의 유해인자를 취급해야 하며 실험방법도 변경되어 기존과 전혀 다른 연구개발활동을 진행하는 경우도 있다. 동일한 연구개발활동을 실시할때에도 화학물질의 양을 변화시켜 실험하는 경우도 있어 연구실의 연구개발활동을 일반화시키는 것은 어렵다고 할 수 있다.

미국 OSHA(Occupational Safety and Health Administration)에서는 연구실은 소량의 화학물질을 생산용으로 사용하는 장소로 규정하여 일반 제조업과 다

른 기준으로 관리하고 있고 독일의 경우에는 제조업의 화학물질 노출기준은 BauA(Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin)에서 관리하고 연구실의 화학물질 노출기준은 AGS(Ausschuss für Gefahrstoffe)와 DGUV(Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung)에서 설정하도록 하고 있으며 연구실은 제조업에 비해 다양한 화학물질에 노출될 수 있어 보다 엄격히 관리하고 있다. 우리나라의 경우에는 「연구실의 안전환경 조성에 관한 법률」에 따라 ‘유해인자별 노출도평가’로 화학물질 노출을 관리하고 있지만 그 내용은 산업안전보건법의 작업환경측정을 그대로 따르고 있다. 더욱이 연구실의 ‘유해인자별 노출도평가’는 산업안전보건법에서의 작업환경측정과 달리 실시 주기가 명시되어 있지 않고 필요시에만 작업환경측정을 실시하고 있어 큰 문제이다.

본 연구는 천연물합성 연구실을 한정하여 연구개발활동 시 취급하는 유기화합물의 노출경로와 노출수준을 파악하고 측정된 TWA와 STEL을 비교하여 연구환경에서 실시되고 있는 작업환경측정의 개선 방향을 제시하고자 한다.

2. 이론적 배경

작업환경측정은 산업안전보건법에 따라 유기용제, 중금속, 분진, 소음 등 작업 중 노출될 수 있는 잠재적인 유해인자가 작업자에게 얼마나 노출되는지를 측정·평가하여 그 결과에 따라 시설, 설비 등을 개선하는 것으로 작업환경측정 시료를 채취하기 위해서는 1일 6시간 이상 연속 측정하거나 작업시간을 등 간격으로 나누어 6시간 이상 연속분리하여 측정하도록 하고 있다. 다만 화학물질 및 물리적인자 중 노출기준에 단시간 노출기준이 설정된 대상 물질로써 단시간 고농도에 노출된 경우에는 1회 15분간, 1시간 이상의 등간격으로 4회 이상 단시간 측정을 할 수 있다[7].

TWA는 작업 중 화학물질, 물리적인자 등의 유해인자에 대하여 평균 노출량을 계산하기 위해 사용하는 측정 방법으로 작업장에서 노출의 잠재적인 건강 영향을 평가하기 위해 산업보건분야에서 일반적으로 사용하고 있다. 1일 8시간 작업을 기준으로 하여 유해인자의 측정치에 발생 시간을 곱하여 8시간으로 나눈 값을 말하며 TWA 계산 공식은 다음과 같다.

$$C = \frac{C_1 T_1 + C_2 T_2 + \dots + C_n T_n}{8} \quad (1)$$

Where,

C1, ..., Cn : The measured concentrations of the substance at different times (in the same units, such as ppm or mg/m³)

T1, ..., Tn : The corresponding exposure times (in hours) associated with the measured concentrations

작업환경측정으로 측정된 TWA 값은 해당 작업의 전체 평균 노출농도를 나타내며 노출수준이 화학물질, 물리적인자 등의 규제 또는 권장 한계를 초과하는지 여부를 결정하는 데 사용하고 있다.

STEL은 작업자가 건강에 악영향을 미치지 않고 짧은 시간 동안 노출될 수 있는 유해화학물질의 최대 농도를 나타내는 노출 한도로써 작업자가 1회 15분간 유해인자에 노출되는 경우의 기준으로 이 기준 이하에서는 1회 노출 간격이 1시간 이상인 경우에 1일 작업시간 동안 4회까지 노출이 허용될 수 있는 기준이다. STEL은 TWA를 보완하여 작업자가 유지보수 또는 수리 활동, 청소 또는 밀폐된 공간에서와 같이 단기간 고농도의 유해인자에 노출될 수 있는 상황을 고려하여 설계된 측정 방법이다. 일반적으로 ppm(parts per million) 또는 mg/m³의 단위로 표시되며 화학물질에 대한 사용 가능한 독성 데이터를 기반으로 하며 자극, 현기증 또는 메스꺼움과 같이 작업자에게 즉각적이거나 단기적인 건강 영향을 유발하는 것으로 알려진 수준보다 낮은 수준으로 설정하고 있다.

CMR 물질은 발암성, 생식세포 변이원성, 생식독성이 있는 물질을 의미하는 것으로 인간이나 동물에게 암, 돌연변이 또는 생식장애를 일으킬 가능성이 있는 화학물질이다. 연구실에서 사용하는 물질 중 발암성물질은 benzene, chloroform, dichloromethane 등이 있으며 생식세포 변이원성물질에는 ethyl methanesulfonate, ethidium bromide, aflatoxin 등이 있고 생식독성물질은 lead, mercury, bisphenol A 등이 있다. 우리나라의 경우 산업안전보건법에서 관리대상물질 중 CMR 물질을 특별관리물질로 지정하여 국소배기장치 사용, 취급일지 작성, 개인보호구 착용 등 안전보건상의 조치하도록 규제하고 있다[8].

3. 선행연구 분석

Hyaeyeong Byun(2011) 및 Youngeun Choi(2019)은 화학물질을 합성하거나 분석하는 유기합성연구실에서 작업환경측정을 통해 발암성물질인 benzene, chloroform, dichloromethane 등이 연구개발활동 중 노출되는 것을 확인하였다[9,10].

Joohyun Ha(2010)은 연구기관 및 대학 연구실의 화학물질을 취급하는 연구활동종사자를 대상으로 설문조사를 실시하여 응답자 중 30 %는 두통, 코 또는 인후의 자극을 경험하였다고 응답하였고 10 %는 피부발진이나 가려움증을 경험한 적이 있다고 발표하였다[11].

Je-Gyu Hwang(2020)는 연구실의 작업환경측정 결과와 국내 작업환경측정 평균 통계자료를 비교하여 화학물질을 취급하는 연구실에서 일부 화학물질에 대해 국내 작업환경측정 평균 측정값보다 높게 측정되는 것을 확인하였으며 연구실도 작업환경측정제도 안에서 관리가 되어야 함을 주장하였다[12].

위 선행연구를 통해 연구실에서 연구활동종사자가 연구개발활동 중 취급하는 화학물질에 노출된다는 사실과 이로 인해 건강상의 장애를 일으킬 수 있다는 것을 확인하였다. 본 연구에서는 천연물합성 연구실의 유기화합물 취급에 따른 노출정도를 TWA와 STEL 방법으로 작업환경측정을 실시하고 그 결과를 비교하여 연구환경의 작업환경측정방법의 개선방향을 제시하고자 한다.

4. 연구방법

4.1 연구대상

본 연구는 연구개발활동이 활발히 이루어지고 있는 대전지역 소재 연구기관의 연구실 중 유기화합물을 취급하여 합성, 반응, 분석 등의 연구개발활동을 진행하여 천연물을 합성하는 연구실을 대상으로 하였다. 유기화합물 노출평가에 앞서 서면 자료조사와 유기화합물의 물질안전보건자료(MSDS)를 확보하여 취급하는 유기화합물을 분석하고 해당 연구실의 연구활동종사자를 대상으로 면담을 진행하여 연구개발활동의 특성을 파악하였다. 연구활동종사자별로 연구개발활동에 대해 단위작업 별로 구분하여 취급하는 유기화합물, 사용량, 월 취급 횟수 등의 정보를 수집하였으며 이를 바탕으로 연구실에서 가장 빈번하게 취급하고 있는 Acetone, Chloroform,

Dichloromethane, Diethyl ether, Ethyl acetate, n-Hexane, Tetrahydrofuran, Toluene의 유기화합물 8종을 노출평가 대상으로 선정하였다. 연구실에서 작업 환경측정을 실시하여 측정 시료를 가스크로마토그래피를 사용하여 분석하였다. Fig. 1은 작업환경측정 절차를 표시하였다.

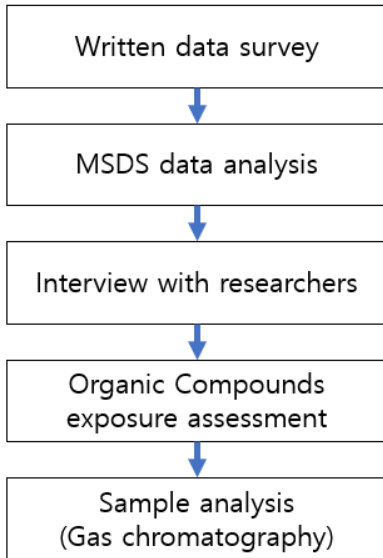


Fig. 1. Chemical exposure assessment procedure

4.2 분석방법

유기화합물의 작업환경측정은 TWA와 STEL을 기준으로 측정하였다. TWA 방식은 연구활동종사자가 연구실에서 생활하는 8시간 동안 측정 시료를 노출해 16개의 시료를 채취하였고 STEL 방식은 연구개발활동 중 측정 시료를 20분 동안 노출시켜 5개의 시료를 채취하였다. 측정 시료는 활성탄관(Anasorb CSC Coconut Charcoal Sorbent Tube 226-01, SKC Inc., USA)과 개인포집펌프(TUFF™ Personal Sampling Pump, Casella Inc., USA)를 연구활동종사자에게 측정 시간동안 착용하도록 하였다. 개인포집펌프의 유량은 0.03L/min으로 하여 작동시켰다. 채취가 완료된 시료는 즉시 밀봉하여 분석 전까지 냉장 보관하였다. 측정 시료인 고체흡착관의 앞 층과 뒤 층을 분리하여 각각 순도 99.0% 이황화탄소(CS₂)로 추출하여 가스크로마토그래피(450-GC, VARIAN Inc., USA)로 정량 분석한 후 다음 식에 따라 결과값을 산출하였다.

$$C = \frac{(W_f + W_b - B_f - B_b) \times 10^3}{V} \times \frac{24.45}{MW} \quad (2)$$

Where

C : Concentration of analyte (ppm)

W_f : Amount of sample front layer (mg)

W_b : Amount of sample back layer (mg)

B_f : Amount of front layer of sample before measurement (mg)

B_b : Amount of back layer of sample before measurement (mg)

V : Sample air volume (L)

MW : Molecular Weight

4.3 연구의 한계점

본 연구를 진행하면서 다음과 같은 한계점이 있었다. 첫째는 여러 가지 연구개발활동 중 사전에 연구활동종사자와 면담을 통해 가장 빈번히 진행되는 연구개발활동을 한정하여 하루에 일정을 잡아 진행하여 시료를 포집하여 진행한 것이고, 둘째는 특정 시간(일반적으로 8시간) 동안의 평균 노출 수준의 값인 TWA를 측정하다 보니 실제 연구개발활동 중 노출된 유기화합물과 연구개발활동을 진행하지 않을 때는 유기화합물의 노출 차가 크게 발생하여 측정값의 편차가 발생할 수밖에 없었다. 셋째는 연구활동종사자의 연구개발활동 습관에 따라 유기화합물의 노출수준이 달라질 수 있었다. 연구활동종사자에 따라 연구개발활동을 진행하는 장소가 흡후드인지 실험대인지에 따라 달라지고 흡후드의 사용 시 손을 깊숙이 넣어 사용하는 넣거나 짧게 넣어 사용하는냐에 따라 또는 흡후드 새시를 내리거나 올리고 사용하는 차이에 따라 유기화합물의 노출되는 빈도나 양이 달라질 수 있다.

5. 측정결과

5.1 연구실의 일반정보

연구실에서 유기화합물을 취급하여 진행되는 연구개발활동은 불규칙적이고 짧은 시간에 집중적으로 수행되었으며, 협소한 연구실에서 여러 명의 연구활동종사자가 동시에 화학물질을 취급하였다. 또한, 일과 중 화학물질을 취급하는 연구개발활동과 논문검색 등의 단순연구가 연구활동종사자별로 구분 없이 함께 수행되고 있었다. 전체 연구개발활동에 있어 시작 단계에서 종료 단계까지

다양한 활동이 병행하여 실시하는 것이 대부분이었으며, 연구과제, 연구과정 등에 따라 취급하는 화학물질이 달라 연구실 내에 많은 종류의 화학물질을 보관하고 있었다. 연구개발활동 중 화학물질의 사용은 제조업에 비해 상대적으로 단시간 동안 적은 양을 사용하고 있지만, CMR 물질과 같은 독성이 높은물질도 포함하고 있었다. 작업환경측정 대상 유기화합물의 종류, 사용량(L/월), TWA, STEL, CMR 물질의 정보는 Table 1과 같다. TWA와 STEL의 노출기준은 고용노동부의 화학물질 노출 기준값을 표시하였다[13].

작업환경측정이 이루어진 연구실은 연구공간과 사무공간이 분리되어 있지 않아 다른 연구활동종사자가 화학물질을 취급하여 연구실 공기가 오염되면 화학물질에 노출될 수 있는 구조였다. 대부분의 화학물질은 밀폐형시약장에 보관되어 있었지만 일부 화학물질의 용기가 실험대, 흡후드에 보관되어 있었다. 연구공간에는 흡후드가 설치되어 있어 연구개발활동 시 사용하였지만 일부 공정에서 국소배기장치를 사용하지 않고 실험을 진행하였다. 연구개발활동 중에는 실험복, 보안경, 니트릴장갑 또는 라텍스장갑을 착용하였고 호흡용 보호구는 착용하지 않았다.

5.2 연구개발활동 공정

연구실에서는 다양한 연구과제의 연구개발활동을 수

행하면서 연구과제별로 취급하는 화학물질이 달라질 수 있다. 유기합성연구실의 연구개발활동은 비슷한 공정을 수행하여 연구개발활동이 진행되고 있고 공정의 순서가 변경되거나 일부 공정이 추가되는 경우가 있다. 작업환경측정 시 연구개발활동은 반응, 워크업, 컬럼크로마토그래피, 세척의 공정 순으로 진행되며 공정별 노출될 수 있는 유기화합물은 Table 2와 같다. 반응 및 워크업 공정은 원하는 화학물질을 정제하고 분리하기 위해 반응 완료 후 수행되는 일련의 단계를 의미한다. 컬럼크로마토그래피는 혼합물에서 개별 성분을 분리하고 정제하기 위해 분석 화학 및 생화학에서 사용되는 분리 기술로 알려져 있다[14]. 세척공정은 불순물, 오염물질 또는 원치 않는 유기물질 등을 제거하기 위하여 용매를 이용하여 초자기구 등을 세척하는 공정이다. 작업환경측정이 실시된 연구실에서는 초자기구의 유기물질을 제거하기 위하여 Acetone을 주로 사용하고 있다.

Acetone에 장기간 노출되면 눈, 코, 목, 폐의 자극뿐만 아니라 두통, 현기증 및 메스꺼움을 유발할 수 있고 간 및 신장 손상은 물론 중추신경계에 영향을 미칠 수 있다[15]. Chloroform은 발암성(group 2)물질로 장기간에 걸쳐 노출되면 간과 신장이 손상될 수 있다. Dichloromethane은 발암성(group 2)물질로 노출 시 신경계, 간 및 신장이 손상될 수 있다. n-Hexane에 장기간 노출되면 특히 손, 발 및 눈의 신경 손상을 유발할 수

Table 1. Information on substances subject to chemical exposure assessment.

Organic compounds	Consumption (L/Mon)	TWA (ppm)*	STEL(ppm)*	CMR
Acetone	40	500	750	
Chloroform	1.5	10	-	Carcinogenic 2
Dichloromethane	10	50	-	Carcinogenic 2
Diethyl ether	2	400	500	
Ethyl acetate	2	400	-	
n-Hexane	22	500	1000	
Tetrahydrofuran	0.1	50	100	Carcinogenic 2
Toluene	9.6	50	150	Reprotoxic 2

* TWA and STEL Occupational Exposure Limits(OELs) set by Ministry of Employment and Labor, Republic of Korea, 2020

Table 2. Organic compound that may be exposed during the R&D process

R&D Process	Reaction	Workup	Column chromatography	Washing
Organic compound	Diethyl ether Toluene Tetrahydrofuran	Chloroform Dichloromethan	Dichloromethan Ethyl acetate n-Hexane	Acetone

있으며 간 및 신장 손상을 유발할 수도 있다. 심한 경우 말초신경이 손상되어 몸과 뇌 사이에 신호를 제대로 전달할 수 없는 상태인 말초신경병증을 일으킨다. Toluene은 중추신경계에 영향을 미치는 생식독성 (Reprotoxic 2)물질로 임신 중에 노출되면 선천적 결함 및 발달 문제의 위험이 증가할 수 있다. Diethyl ether, Ethyl acetate는 눈과 상기도 자극을 일으키고 Tetrahydrofuran은 중추신경계에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 각 유기화합물의 독성에 관한 정보는 Table 3과 같다.

Table 3. Target organs of chemical toxicity

Organic compounds	Target organs of chemical toxicity
Acetone	Central nervous system, Liver, kidney
Chloroform	Liver and kidney
Dichloromethane	Nervous system, liver and kidneys
Diethyl ether	Eyes and upper respiratory tract
Ethyl acetate	Eyes and upper respiratory tract
n-Hexane	Peripheral nervous system
Tetrahydrofuran	Central nervous system
Toluene	Central nervous system

5.3 작업환경측정 결과값

유기화합물에 대한 작업환경측정 결과값은 Table 4에 표시하였다. 단, 불검출 및 검출한계 미만 항목은 제외하고 검출된 물질에 대해 표시하였다. 연구실에서는 고용노동부 고시에 따른 노출기준에 비해 낮은 수치의 유기화합물이 검출되었다. TWA 측정 시료에서 검출된 유기화합물은 6종으로 Acetone, Chloroform, Dichloromethane, Ethyl acetate, n-Hexane, Tetrahydrofuran이 검출되었고, STEL 측정 시료에서는 Acetone, n-Hexane이 검출되었다. 반응공정에서는 Tetrahydrofuran이 노출되었고 워크업공정에서는 Chloroform, Dichloromethane이 노출되었으며 컬럼 크로마토그래피에서는 Dichloromethane, Ethyl acetate, n-Hexane 노출되었고 세척공정에서는 Acetone이 노출된 것을 확인할 수 있다. TWA와 STEL의 측정값 모두 Acetone이 가장 높게 측정되었다. 이것은 Acetone은 주로 연구개발활동 마지막 단계인 세척공정에서 주로 취급하였는데 세척 시 국소배기장치를 사용하지 않은 상태에서 싱크대에서 Acetone을 직접 분사하여 실험기구를 세척하는 중 증발한 Acetone 증기에 노출되는 것으로 보인다.

Table 4. Result of chemical exposure assessment

Chemical	TWA(ppm)	STEL(ppm)
Acetone	8.35	45.25
Chloroform	2.97	
Dichloromethane	5.10	
Diethyl ether	-	
Ethyl acetate	1.21	
n-Hexane	2.69	3.53
Tetrahydrofuran	0.31	
Toluene	-	

STEL값과 TWA값을 비교해 보면 STEL값이 Acetone은 5.4배가 높았고, n-Hexane은 1.31배가 높은 수치가 측정된 것을 확인할 수 있는데 이것은 연구개발활동의 특성상 단시간에 유기화합물을 취급하는 특성을 반영한 것이다.

발암성물질인 Chloroform은 2.97 ppm, Dichloromethane 5.10 ppm, Tetrahydrofuran 0.31 ppm이 각각 측정되었는데 노출기준값과 대비하여 각각 29.7 %, 10. 2%, 0.6 %의 수준으로 노출된 것을 확인할 수 있다. 연구실에서 연구개발활동 중 호흡용 보호구를 착용하지 않는 경우가 많아 발암성물질에 지속적으로 노출될 수 있다. 또한, 노출수준의 미만값이지만 연구활동종사자가 유기화합물을 취급하는 방법, 장소 등에 따라 노출되는 농도는 달라질 수 있어 측정된 결과보다 높은 수준의 발암성물질에 노출될 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 연구개발활동이 활발하게 이루어지는 유기합성연구실을 대상으로 연구활동종사자가 연구개발활동 중 유기화합물에 노출되는 수준을 확인하였다. 노출기준 대비 0.3 % ~ 29.7 %의 수준으로 고용노동부에서 정하고 있는 노출기준 미만의 값이 측정되었지만, 발암성물질도 함께 측정된 것을 확인할 수 있다. 이번 연구가 진행된 연구실의 경우 연구공간과 사무공간이 분리되어 있지 않아 연구실에 상주하는 동안에는 유기화합물에 계속 노출될 수 있는 환경이었다. 이것은 제조업에 종사하는 작업자의 경우 정해진 시간을 근무하는 것과 달리 연구활동종사자는 불규칙적으로 장시간 동안 연구실에서 생활하는 특성이 있어 화학물질의 노출수준이 증가할 수 있다. 다만, 「연구실 설치운영에 관한 기준」(과학기술정

보통신부고시 제2020-108호)가 제정되어 2023년 1월 1일부터 시행됨에 따라 화학물질을 취급하는 연구공간과 사무공간 분리가 의무화되면서 연구활동종사자에게 화학물질의 노출이 줄어들 수 있을 것이라 기대된다.

STEL의 측정값이 TWA보다 높게 측정된 것은 불규칙적으로 단시간에 집중적으로 화학물질을 사용하여 연구개발활동을 하는 연구환경의 특성이 반영된 것이라 할 수 있다. 연구실에서 화학물질에 대해 TWA를 측정하게 되면 화학물질을 취급하지 않는 측정시간동안 측정농도가 희석되는 효과가 발생하게 되어 연구실의 화학물질 노출을 정확하게 반영하지 못하게 된다. 따라서 연구실의 화학물질 노출수준을 정확하게 판단하기 위해서는 TWA와 STEL을 동시에 측정하는 화학물질 노출평가가 진행되어야 한다.

유기화합물에 노출되는 연구환경을 개선하기 위해서는 연구실 작업환경측정을 필요에 따라 실시하고 있는 부분에 대하여 정기적으로 측정을 의무화하고 연구실에서 사용하는 화학물질이 변경될 수 있기 때문에 연구과제 변경 등으로 사용하는 화학물질이 변경될 경우에도 화학물질에 노출여부를 평가될 수 있도록 제도를 개선하는 것이 중요하다 하겠다. 또한, 다양한 연구활동에 대하여 화학물질의 노출경로의 특성을 파악하고 화학물질 종류에 따라 노출을 감소·제거할 수 방안을 마련해야 할 것이다.

References

- [1] Kretchman Kenneth, "Exposure assessment in a laboratory environment." *Chemical Health & Safety* 9.1, 10-14., 2002.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S1074-9098\(01\)00286-6](https://doi.org/10.1016/S1074-9098(01)00286-6)
- [2] Carpenter L, Beral V, Roman E, Swerdlow AJ, Davis G., "Cancer in laboratory workers" *Lancet* 338.8774, 1080-1081, 1991.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(91\)91938-q](https://doi.org/10.1016/0140-6736(91)91938-q)
- [3] Kauppinen, T., Pukkala, E., Saalo, A., & Sasco, A. J., "Exposure to chemical carcinogens and risk of cancer among Finnish laboratory workers." *American journal of industrial medicine* 44.4, 343-350, 2003.
DOI: <https://doi.org/10.1002/ajim.10278>
- [4] Richardson, D. B., Wing, S., Keil, A., & Wolf, S., "Mortality among workers at Oak Ridge National Laboratory." *American journal of industrial medicine* 56.7, 725-732, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1002/ajim.22164>
- [5] Dement, John M., and John R. Cromer, "Cancer and reproductive risks among chemists and laboratory workers: a review." *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 7.2, 120-126, 1992.
DOI: <https://doi.org/10.1080/1047322X.1992.10388032>
- [6] Axelsson, G., and R. Rylander, "Use of questionnaires in occupational studies of pregnancy outcome." *Annals of the Academy of Medicine, Singapore* 13.2, 327-330, 1984.
- [7] Ministry of Employment and Labor, Notice on work environment measurement and quality control, etc., No. 2022-44.
- [8] Korea Occupational Safety and Health Agency, "Work Environment Management Guidelines for Workers Handling Specially Managed Substances" KOSHA GUIDE H-147-2021.
- [9] H. J. Byun, K. N. Ryu, C. S. Yoon, J. I. Park, "Quantitative Assessment Strategy for Determining the Exposures to Volatile Organic Chemicals in Chemistry Laboratories." *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene* 21.1, 11-24, 2011.
- [10] Y. E. Choi, Y. H. Chu, I. M. Lee, J. I. Park. "Task-based Exposure Assessment among Laboratory workers in Organic Synthesis Laboratories." *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene* 29.1, 1-12, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2019.29.1.1>
- [11] J. H. Ha, Y. C. Shin, H. S. Lee, G. Y. Yi, B. K. Lee, "Evaluation of Air Contaminants Concentrations and Ventilation Systems in Governmental Agency and University Laboratories" *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene* 20.1, 63-69, 2010.
- [12] J. G. Hwang, H. S. Byun, "Work Environment Measurement Results for Research Workers and Directions for System Improvement" *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene* 30.4, 342-352, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2020.30.4.342>
- [13] Ministry of Employment and Labor, Exposure standards for chemical substances and physical factors, No. 2020-48.
- [14] Coskun Ozlem, "Separation techniques: chromatography." *Northern clinics of Istanbul* 3.2, 156, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.14744/2Fnci.2016.32757>
- [15] Dalton Pamela et al. "Perceived odor, irritation, and health symptoms following short-term exposure to acetone." *American journal of industrial medicine* 31.5, 558-569, 1997.
DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0274\(199705\)31:5<558::AID-AJIM10>3.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0274(199705)31:5<558::AID-AJIM10>3.0.CO;2-Y)

임 현 종(Hyun-Jong Yim)

[정회원]



- 2010년 2월 : 충북대학교 공과대학원 화학공학과 (공학석사)
- 2010년 3월 ~ 2023년 2월 : 한국과학기술원 선임기술원
- 2023년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 대학원 안전행정공학과 (박사과정)

<관심분야>

화학안전, 연구실안전, 산업안전보건법

조 규 선(Guy-Sun Cho)

[정회원]



- 2020년 8월 : 송실대학교 대학원 안전보건융합공학과 (공학박사)
- 1992년 1월 ~ 2018년 2월 : 한국산업안전보건공단 부장
- 2018년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 안전행정공학과 교수

<관심분야>

공정안전, 안전보건경영시스템, 로봇안전, 위험성평가