

## 실험실에서 연구자의 탈륨(Tl) 노출평가 사례

임대성\*

서울사이버대학교 안전관리학과

## Case Study on Exposure Assessment of Thallium (Tl) among Laboratory Researchers

Daesung Lim\*

*Department of Safety Management, Seoul Cyber University*

### ABSTRACT

**Objectives:** This study was conducted upon a request from a domestic research institute in 2022 to determine the extent to which researchers may be exposed to thallium (Tl) during a research experiment using thallium compounds. Although it is not a hazardous factor subject to workplace environment measurement, thallium is highly harmful to the human body and an occupational exposure limit (OEL) have been established. An exposure assessment of actual researchers was conducted and management measures were presented.

**Methods:** The measurement and analysis method for thallium were performed according to NMAM (NIOSH, Manual of Analytical Methods) 7302. The measurement was performed using a three-piece cassette equipped with a mixed cellulose ester (MCE) membrane filter connected to a high-flow sampling pump with a flexible polyurethane tube. The analysis was performed using an inductively coupled plasma – optical emission spectrometer (ICP-OES). For the evaluation of the time-weighted average, sampling was performed for more than six hours at a flow rate of two L/min, and the sampling flow rate was compensated using a flow compensation device. The average flow rate before and after sampling was used for accurate calculation of the air volume.

**Conclusions:** Although personal exposure assessments for powder injection and growth work were not detected, the area exposure assessment results on the work table evaluated the maximum concentration as 0.0038 mg/m<sup>3</sup>, confirming the possibility of scattering to the surroundings during work. The personal exposure assessment results for researchers in the post-processing work after interior cleaning of the chamber were evaluated as 0.0110 mg/m<sup>3</sup>, which exceeded 10% of the occupational exposure limit of 0.1 mg/m<sup>3</sup> determined by the Ministry of Employment and Labor. The American Conference of Governmental Industrial Hygienists threshold limit value for thallium is 0.02 mg/m<sup>3</sup>. When evaluated based on this, the personal exposure concentration in the post-processing work after interior cleaning of the chamber was evaluated to exceed 50% of the occupational exposure limit. It was determined that improvement of the work environment is necessary.

**Key words:** Thallium, exposure assessment, laboratory working environment

### I. 조사개요


탈륨(Thallium, Tl)은 희귀하지만 널리 분포된 금속 원소이며, 수은, 카드뮴, 납, 구리 또는 아연보다 인간에게 더 독성이 강하다. 1861년 발견된 이후로 많은 사

고, 직업, 고의 및 치료적 중독의 원인이 되었고, 매혹적인 화학과 높은 독성 잠재력으로 인해 탈륨과 그 화합물은 특히 과학적 관심과 환경적 우려를 불러일으킨다(Peter & Viraraghavan, 2005). 탈륨 및 탈륨 기반 화합물은 다른 중금속에 비해 수용성이 더 높다

\*Corresponding author: Daesung Lim, Tel: 02-944-5641, E-mail: dsoklim@gmail.com

60 Solmae-ro 49-gil, Gangbuk-gu, Seoul (Mia-dong), Korea, 01133

Received: March 11, 2025, Revised: March 17, 2025, Accepted: March 28, 2025

 Daesung Lim <https://orcid.org/0000-0003-4190-0390>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Table 1.** Occupational exposure limit (OEL) for thallium by institution (based on web-site by institution, 2024)

Classification	Substance	Occupational exposure limits (TWA: Time Weighted Average)	
MoEL - OEL <sup>1)</sup>	Thallium (soluble compounds, as TI)	0.1 mg/m <sup>3</sup>	(soluble) skin
OSHA - PEL <sup>2)</sup>	Thallium, soluble compounds (as TI)	0.1 mg/m <sup>3</sup>	(soluble) skin
NIOSH - REL <sup>3)</sup>	Thallium (soluble compounds, as TI)	0.1 mg/m <sup>3</sup>	(soluble) skin
ACGIH - TLV <sup>4)</sup>	Thallium and compounds, as TI	0.02 mg/m <sup>3</sup>	skin

1) Ministry of Employment and Labor - Occupational Exposure Limit

2) Occupational Safety and Health Administration - Permissible Exposure Limit

3) National Institute for Occupational Safety and Health - Recommended Exposure Limit

4) American Conference of Governmental Industrial Hygienists - Threshold Limit Values

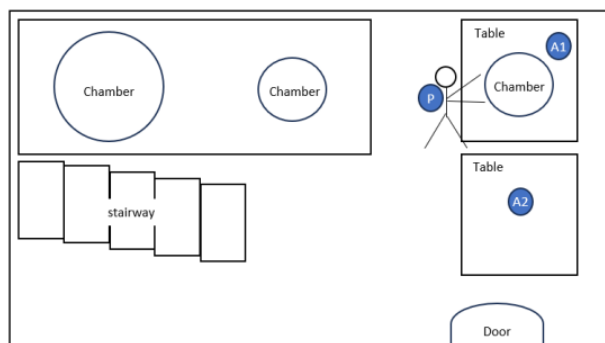
(Karbowska, 2016). 또한 에어로졸 및 공기 입자에서 낮은 농도( $\text{ng/m}^3$ )로 존재하지만 고도로 도시화된 지역과 광산 및 산업과 구역에서는 더 높은 수준으로 증가할 수 있다(Belzile & Chen, 2017).

탈륨은 고용노동부 고시에 의한 노출기준 설정물질(MoEL, 2024)이며, 미국의 산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH), 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)과 산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)의 노출기준에도 설정되어 있으나(ACGIH, 2024; NIOSH, 2024; OSHA, 2024)(Table 1), 산업안전보건법에 의한 작업환경측정이나 특수건강진단 대상유해인자에는 포함되어 있지 않다. 따라서 근로자가 탈륨에 노출되더라도 작업환경측정이나 특수건강진단을 해야 할 법적 의무는 없지만 노출기준 설정 물질인 만큼 사업장에서는 노출기준 이하로 관리되어야 한다.

본 조사는 2022년 국내의 일개 연구기관에서 탈륨화합물을 이용한 연구실험단계에서 연구자들이 탈륨에 어느 정도 노출될 수 있는지에 대한 확인 요청이 있었다. 이에 작업환경측정대상 유해인자는 아니지만 탈륨의 인체 유해성이 높고 노출기준이 설정되어 있는 만큼 실제 연구자의 노출평가를 실시하였고, 관리방안을 제시하였다.

## II. 조사방법(측정 및 분석방법)

해당 연구실험실에서 탈륨화합물을 이용한 연구실험 과정은 주로 실험실 내 챔버(chamber)에서 이루어지며, bake out → 챔버 청소 → 파우더 주입 → 승온 → 결정성장 → 쿨링(cooling) → 열처리 → 챔버 내부



**Figure 1.** Schematic diagram of measurement location

세정 후처리(청소/정리) → 결정이동 단계로 진행되며, 이중 탈륨의 노출 가능성이 있는 파우더 주입작업, 결정성장작업, 챔버 내부세정 후처리 작업에 대해서 노출평가를 진행하였다.

각 작업별로 하루씩 측정을 하였으며, 연구자의 개인 노출평가(personal sampling)와 실험실 내 비산 가능성에 대한 확인을 위해 작업 주변 지역노출평가(area sampling)를 병행하였다(Fig 1).

탈륨에 대한 측정 및 분석방법은 NMAM(NIOSH, Manual of Analytical Methods) 7302에 따라 진행하였고(NIOSH, 2014), 측정은 MCE필터(mixed cellulose ester membrane filter,  $0.8\mu\text{m}$ , 37mm, Zefon International, USA)가 장착된 3단 카세트 샘플러(3-piece cassette)를 폴리우레탄재질의 유연한 튜브로 고유량 시료채취펌프(GilAir-3, Sensidyne, USA)에 연결하여 측정하였고, 분석은 유도결합플라즈마 분광 분석기(inductively coupled plasma - optical emission spectrometer, ICP-OES, Agilent 5800, USA)를 이용하여 분석하였다. 시간가중평균노출기준(TWA) 평가를 위해 2 L/min의 유량으로 6시간 이상 채취하였고, 채취 유량은 유량보정기기 (KMF-20, Kemik, Korea)를 사용

하여 보정하였고 정확한 공기량 계산을 위해 시료채취 전  
· 후 평균 유량을 사용하였다.

### III. 조사결과

파우더 주입작업에서 연구자 개인노출평가결과는 불검출 되었으나, 소형챔버가 있는 테이블A에서 0.0038 mg/m<sup>3</sup>로 측정되었고, 보조테이블B에서는 0.0006 mg/m<sup>3</sup>로 측정되었다. 성장작업에서는 연구자 개인노출평가결과는 불검출 되었으며, 소형챔버가 있는 테이블A에서 0.0028 mg/m<sup>3</sup>, 보조테이블B에서는 불검출 되었다. 챔버 내부세정 후처리작업에서는 연구자 개인노출평가결과는 0.0110 mg/m<sup>3</sup>로 측정되었고, 소형챔버가 있는 테이블A에서 0.0055 mg/m<sup>3</sup>, 보조테이블B에서는 불검출 되었다(Table 2). 다만 개인노출평가를 위한 시료채취시간 중 연구자가 실제로 챔버 작업을 한 시간은 정확하지 않으며 전체 시료채취시간 중 간헐적으로 작업하였다.

파우더 주입작업과 성장작업에서의 개인노출평가가 불검출 되었으나, 작업 테이블에서의 지역노출평가 결과 최대 0.0038 mg/m<sup>3</sup>의 농도로 평가되어 작업 중 주변으로의 비산 가능성을 확인하였으며, 챔버 내부세정 후처리작업에서의 연구자 개인노출평가결과는 0.0110 mg/m<sup>3</sup>의 농도로 평가되어 고용노동부 고사의 노출기준인 0.1 mg/m<sup>3</sup> 대비 10%를 초과하는 노출농도를 보였다.

### IV. 고찰 및 결론

탈륨의 미국산업위생전문가협회의 노출기준(ACGIH TLV-TWA)은 0.02 mg/m<sup>3</sup>로서 이를 기준으로 평가했

을 때, 챔버 내부세정 후처리작업의 개인노출량은 노출기준의 50%를 초과하는 농도로 평가되어 작업환경 개선이 필요한 상황으로 판단된다.

탈륨화합물을 이용한 연구과정 중 챔버 내부 세정작업 시 연구자 개인에게 탈륨이 노출될 가능성은 상당히 높으며, 파우더 주입작업과 결정성장작업 시에는 챔버 주변 테이블 등에도 탈륨의 노출이 확인되어 연구작업 단계 진행 후 연구실 내 테이블 등의 청소(wet cleaning)를 철저히 진행하여 재비산으로 인한 노출을 최소화해야 하며 개인보호구 착용이 준수되어야 한다.

아울러, 탈륨은 피부흡수(skin) 물질로서 피부보호와 눈보호를 위한 보호구 착용이 필수적이다. 작업환경개선을 위해 챔버 덮개에 가스 제거용 구멍(vent hole)으로 국소배기시설을 연결하여 덮개를 열기 전에 흡과 미세입자를 충분히 배기시킨 상태에서 덮개를 여는 방안이 필요하나, 탈륨 화합물을 이용한 연구가 단기적으로 종료될 가능성이 있어(연구빈도가 적은 경우) 비용대비 효과성을 고려한다면 연구기간 동안 연구실 출입 시 전신보호복을 착용하고 실험을 하는 것이 필요하고 연구실 바닥 청소 시 고효율 입자필터(high efficiency particulate air filter)가 장착된 진공청소기를 이용하는 것이 필요하다.

탈륨과 관련된 국내외 논문은 주로 토양, 식품, 의료기술과 관련된 내용들이며 탈륨을 취급하는 근로자들의 직업적 공기 중 노출평가와 관련된 국내외 논문은 많지 않다. 직업적 노출이 독성과 관련이 있는 사례 보고가 몇 건 있지만 노출이 흡입, 경구 및 피부를 통해 발생했는지는 확인할 수 없었고, 주로 의학적, 병리적 검사를 통하여 확인하는 경우가 많았으며 직업군과 비직업군과의 상관성이 높지 않다는 연구결과가 많았다(Eghetesadi

Table 2. Results of work environment measurement by working process

Working process	Sampling type and location	Sampling time (min)	TWA (mg/m <sup>3</sup> )
Powder injection	Personal (P)	360	None detected
	Area (A1)	420	0.0038
	Area (A2)	420	0.0006
Crystal growth	Personal (P)	420	None detected
	Area (A1)	420	0.0028
	Area (A2)	420	None detected
Chamber interior cleaning and post-processing	Personal (P)	360	0.0110
	Area (A1)	360	0.0055
	Area (A2)	360	None detected

et al., 2019). 특히 국내에서 탈륨의 직업적 공기 중 노출평가 사례를 찾아보기 힘든 만큼 이번 탈륨 노출평가 사례는 나름의 큰 의미를 가지고 있다.

탈륨이 산업안전보건법에 따른 작업환경측정 대상 유해인자에 포함되어 있진 않지만, 측정 및 분석방법이 있고 노출기준이 설정되어있는 만큼 주기적인 노출평가를 통하여 연구실 작업환경관리를 해야 할 필요가 있다.

## References

- America Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices.; 2024, p. 82
- Belzile N, Chen Y. Thallium in the environment: A critical review focused on natural waters, soils, sediments and airborne particles, Appl Geochem. 2017;84(1):218-243
- Eghesai R, Safavi S, Shahmirzayi F, Banafshe HR, Omid S et al, A narrative review of thallium toxicity; preventive measures, Inter J Pharm Research. 2019;11(3): 322-330
- Karbowska B. Presence of thallium in the environment: sources of contaminations, distribution and monitoring methods, Environ Monit Assess. 2016;188(11):640
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Exposure limits for chemicals substances and physical factors (MoEL Public Notice No. 2040-48),; 2024. p. 2
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Pocket guide to chemical hazards : Thallium (soluble compounds, as TI), [Accessed 2024 Mar 9], Available from: URL:<http://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0608.html>
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). ELEMENTS by ICP (Microwave Digestion): METHOD 7302, Issue 1, 2014
- Occupational Safety and Health Administration(OSHA). Permissible exposure limits – annotated tables Z-1, [Accessed 2024 Mar 9], Available from: URL:<http://www.osha.gov/annotated-pels/table-z-1>
- Peter AJ, Viraraghavan T. Thallium: A review of public health and environmental concerns, Environ Inter. 2005;31(4):493-501

## <저자정보>

임대성(대우교수)