

## 도금 사업장 근로자에게 발생한 시안화수소 급성중독과 작업환경평가

함승헌<sup>1</sup> · 최원준<sup>1</sup> · 이준형<sup>1</sup> · 임용수<sup>2</sup> · 강지현<sup>1</sup> · 강성규<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>가천대학교 의과대학 길병원 직업환경의학과, <sup>2</sup>가천대학교 의과대학 길병원 응급의학과

## Acute Hydrogen Cyanide Poisoning in a Plating Worker and Workplace Measurement

Seunghon Ham<sup>1</sup> · Won-Jun Choi<sup>1</sup> · Junhyung Lee<sup>1</sup> · Yong su Lim<sup>2</sup> · Jihyun Kang<sup>1</sup> · Seong-Kyu Kang<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Occupational and Environmental Medicine, Gil Medical Center, College of Medicine, Gachon University

<sup>2</sup>Department of Emergency Medicine, Gil Medical Center, College of Medicine, Gachon University

### ABSTRACT

**Introduction:** An unexpected death was reported in a beginner immediately after starting the work at a plating factory. After the incident, air sampling was performed using a simulation of the situation as it had been at the time.

**Methods:** To evaluate the airborne concentration of hydrogen cyanide, a total of six samples were collected: one personal sample, three area samples, and two background samples (office and outdoors). Hydrogen cyanide measurement was performed according to the standard sampling protocol recommended by the U.S. NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health).

**Results:** The highest concentration of hydrogen cyanide was 0.938 ppm measured in a sample collected from the plating bath area with local exhaust ventilation. This value was approximately 20% of the ceiling occupational exposure limit. The personal sample showed a concentration of 0.135 ppm. Samples collected near the bath in which the incident occurred and a dehydrator showed hydrogen cyanide concentrations of 0.236 ppm and 0.101 ppm, respectively. Hydrogen cyanide was not detected in the background samples (office and outdoors).

**Conclusions:** It is necessary to use proper ventilation systems and respirators in plating factories to prevent acute poisoning. Furthermore, it is important to educate and train new workers dealing with toxic substances.

**Key words:** Hydrogen cyanide, acute poisoning, plating industry, short term exposure limit

### 1. 서 론

도금 작업은 금속이나 금속이 아닌 물체의 표면을 목적에 맞게 개선하기 위해 원하는 물질을 얇은 층으로 피복하는 작업이다(Rhee & Park, 2003). 도금은 부식 방지, 내마모성 향상, 내열성 증가, 색상 및 광택 개선 등 다양한 목적으로 전자부품, 반도체, 자동차 부품 등 다양한 분야에 활용되고 있다(Kumar et al., 2015).

과거에는 도금 작업을 할 때 수은을 사용하기도 하였으나, 지금은 용도에 맞게 다양한 물질을 사용하여 도금한다. 장식용 도금의 경우 금, 은, 백금 도금 등을 통해 외관의 색채나 광택을 좋게 한다. 부식방지를 위해서는 아연, 주석 도금을 한다. 오늘날에는 장식 겸 부식방지 용으로 니켈-크롬 도금, 구리-니켈-크롬 도금 등 합금 도금을 주로 하고 있다.

도금 작업을 할 때 사용하는 물질은 산, 염기, 시안화

\*Corresponding author: Seong-Kyu Kang, Tel: 032-460-3790, E-mail: sk.kang@gachon.ac.kr  
Department of Occupational and Environmental Medicine, Gil Medical Center, College of Medicine, Gachon University, 21, Namdongdaero 774-gil, Namdong-gu, Incheon, 21565, Republic of Korea  
Received: August 20, 2019, Revised: September 11, 2019, Accepted: September 24, 2019

Seunghon Ham <https://orcid.org/0000-0002-5167-9661>

Junhyung Lee <https://orcid.org/0000-0001-9040-7231>

Jihyun Kang <https://orcid.org/0000-0002-6459-9337>

Won-Jun Choi <https://orcid.org/0000-0001-8096-7542>

Yong-Su Lim <https://orcid.org/0000-0003-4390-4010>

Seong-Kyu Kang <https://orcid.org/0000-0002-3205-2708>

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.

합물(시안화칼륨, 시안화나트륨 등, 이하 시안화합물이라 한다), 크롬 등 다양하다(NRC, 2002). 이 중 시안화합물은 강산과 함께 가열하면 시안화수소가 발생한다(Kim & Eom, 2006). 시안화수소는 급성중독을 일으키는 매우 독성이 강한 물질로, 대표적인 혈액작용제이다(Bebarta et al., 2012). 시안화수소는 분자량이 작고 상온에서 비이온화 상태로 존재해 어떤 경로로도 체내에 쉽게 흡수된다. 특히 시안화수소를 흡입하는 경우 폐포막을 통과해 독성을 일으켜 사망하기까지 수 초에서 수 분밖에 걸리지 않는다(Gracia & Shepherd, 2001). 전체 음독 사건 중 시안화합물 음독 사건의 비중은 약 10%로 보고되고 있지만, 경구나 흡입 독성으로 인한 노출로 산업현장에서의 사고 위험성은 항상 존재한다(Holstege et al., 2006). 그러나 도금 사업장은 도금 사업장은 대부분 소규모 업체가 많아 시안화합물 관리나 환경개선에 어려움을 겪고 있다.

이러한 급성중독 질환 가능 물질을 관리하기 위해서 직업성 급성중독 질환 관리체계는 매우 중요하다. 2017년부터 0000공단에서는 직업성 급성중독 질환 관리체계를 운영하고 있다. 0000공단본부에 중앙감시본부를 두고 00대학교 00병원 직업환경의학과를 지역감시센터로 선정하였다. 이곳에서는 인천과 부천 지역의 4개 대형 병원 응급실에 내원하는 직업성 급성중독 질환 환자를 조기에 발굴하여 정해진 프로토콜에 따라 위중도를 분류하고, 직업환경의학 전문의와 산업보건 전문가로 팀을 이루어 즉각적인 현장조사를 실시하고 있다.

이 연구에서는 원인 미상의 노출 경로에 의한 시안 급성중독이 발생할 수 있는 작업환경 상태를 보고하고 실제 현장 평가를 함으로써 시안화수소 급성중독의 위험성을 알리고, 급성중독가능 물질의 측정방법 개선점을 제안하고자 한다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 대상 사업장의 특성

연구 대상 사업장은 전자, 통신, 자동차에 사용되는 부품의 도금을 하는 사업장이다. 도금에 쓰이는 재료는 금, 은, 니켈, 주석 등이다. 작업공정은 총 8개로, 원자재입고-세척-탈지-산처리-청화동-도금-건조-출하의 단계로 이루어진다. 일반적으로 세척부터 건조까지의 공정을 도금작업이라 한다. 시안화수소, 산류(황산, 질산), 수산화나트륨, 중금속 등 독성이 높은 물질들을 주로 사

용하기 때문에 유해물질이 발생한다. 특히, 시안화수소가 발생 할 수 있는 시안화나트륨(청화소다), 시안화칼륨(청화가리), 시안화은(청화은), 시안화동(청화동)을 사용하고 있었다. 사용되는 화학물질은 '약품 창고'라고 불리는 별도의 공간에 보관이 되어 있었는데, 이곳은 환기가 되지 않는 약 3.3m<sup>2</sup> 크기의 창고였다. 사업장은 전체환기를 실시하고 있었고, 일부 산세척 공정에 대해서는 국소배기장치가 설치되어 있었다.

2018년 5월 0000병원 직업환경의학과에서는 응급 의학과로부터 직업성 중독질환 사례 발생에 대한 보고를 받은 후 즉시 중앙감시본부에 보고하였으며, 0000공단 중부지역본부 담당자와 함께 해당 도금 사업장의 작업환경에 대한 평가를 실시하였다. 도금 사업장에서 근무하던 23세 남자 근로자가 의식 소실 상태로 0000병원 응급실로 내원하였다. 질병에 대한 특이한 과거력은 없었고, 3주 전 처음으로 도금 사업장에 입사하여 도금 완제품 건조 및 포장 작업을 하였다. 재해자는 도금 작업을 잘 모르는 초보자로 사고 전 까지는 도금 공정에 투입되지 않았으나, 사고 당일 해당 도금 작업 근로자가 자리를 비워 도금 공정에 처음 투입되었다.

재해자가 투입된 작업은 도금작업을 위한 시안화합물 용해액을 준비하는 것이었다. 공장장의 지시를 받아 주말 동안 수조(약 45 L) 2개에 담겨 있던 시안화나트륨이나 시안화칼륨 용해액을 사업장 바닥에 버린 뒤 수돗물을 새로 받았고, 이후 약품 창고에서 시안화나트륨을 옮겨 와 두 개의 수조에 넣었다. 사업장 바닥은 긴 나무판로 만들어졌고 액체를 바닥에 버리면 아래로 빠져나가 배수가 되는 형태였다. 호흡보호구는 사업장에 비치되어 있었으나 저농도 유기화합물용 보호구가 지급되어 있었기 때문에 시안화수소를 여과할 수 있는 보호구가 아니었다. 호흡보호구는 착용하지 않았고, 고무장갑, 장화, 앞치마를 착용하고 작업을 하였다. 사고 당일 근로자들의 작업에 대해 사업장안에 있는 폐쇄회로(CCTV)영상을 검토한 결과, 작업 수행 30분 후 재해자가 실신 및 경련하는 모습이 동료 근로자에게 발견되었고 즉시 응급실로 이송된 것으로 확인되었다. 응급실 도착 당시 시안화수소에 의한 중독 증상으로 산증이 심하였고, 혈액 내 산소포화도가 떨어져 기도 삽관을 시행하였다. 혈액검사 결과 심장 효소 수치 및 간수치가 동반 상승되었으며, 신장 손상이 확인되어 응급 투석을 시행하였고, 뇌 자기공명영상(MRI) 결과 심한 뇌부종이 관찰되었다. 국립과학수사연구소에 의뢰한 혈액검사 결과 청산 이온

이 최대 14.6 mg/L로 측정되어 일반적으로 혈중 청산이온이 0.1 mg/L 이상이면 건강상 영향을 주는 수준보다 높은 수치였다(Ballantyne et al., 1988). 재해자는 최종적으로 뇌기능 부전을 진단받았고, 요양병원으로 옮긴 후 사망하였다(KOSHA, 2018).

## 2. 연구 방법

### 1) 사업장 사용 화학물질 확인

사업장에서 사용하는 화학물질을 파악하기 위해 산업위생, 직업환경의학 전문가가 물질안전보건자료(Material Safety Data Sheets, MSDS) 및 사업장의 화학물질의 거래장부를 이용하여 확인하였다. 거래처명, 단가, 금액 등을 확인하여 실제 작업환경측정 보고서에 기술되어 있는 것과 일치 하는지 확인하였다. 사업장에서 사용되는 물질인지 여부를 사업주 및 근로자에게 목록을 확인 한 후 보관장소, 사용장소 및 방법에 대하여 조사하였다.

### 2) 과거 작업환경측정 자료 검토

과거 노출을 추정하기 위하여 과거 작업환경측정 자료를 해당 사업장으로부터 제공받아 검토를 하였다. 자료는 2017년 상반기, 하반기 그리고 2018년 상반기 총 3회 차의 자료를 검토하였다. 사업장개요, 측정기관, 측정일자, 공정, 유해인자(발생주기, 근로자수, 작업시간, 측정방법, 예상 시료채취 또는 측정건수 등), 유해화학물질 사용상태(부서 또는 공정, 화학물질명, 제조 또는 사용여부, 사용용도, 월취급량 등), 측정위치도, 측정결과를 검토하였다.

### 3) 공기 중 시안화수소(HCN) 측정

사건 발생 다음날 오전에 사고가 발생한 사업장에서의 공기 중 시안화수소를 측정하였다. 총 6개의 시료를 채취하였고, 이 중 1개는 유사한 업무를 하는 근로자에게 개인시료채취를 하였고, 5개는 국소배기장치가 있는 도금조, 사고가 발생한 국소배기장치가 없는 수조, 건조기, 사무실, 복도 외부에서 지역시료채취를 하였다. 5개의 지역시료 중에서 3개는 현장에서 근로자가 근무하는 동선에 따라 위치를 선정하였고, 2개는 배경농도 측정을 위하여 각각 행정을 보는 사무실에서 근무하는 책상 위와 창문이 없는 사업장 복도 외부의 1.5 m 높이의 외기에서 채취를 하였다. 실제 작업의 형태와 최대한 비슷하게 모사를 하였으나 작업량은 근로자와 측정자의 안전을 위해 최소화 하였다. 측정방법은 미국국립직업안

전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)의 공정시험법(NIOSH Manual of Analytical Method, NMAM)을 준용하였다. NIOSH 6010 4차 방법에 따라 시료채취 매체는 Solid Sorbent Tube(Soda lime, 600 mg/200 mg, SKC Inc., USA)를 사용하였고, High volume pump(EX-350, GSA, Germany)를 이용하여 0.2 L/min(권고 채취유량: 0.05-0.2 L/min)으로 공기를 채취하였다(NIOSH, 2017). 2017년 12월 11일 5차로 개정된 NIOSH 6010 방법에서는 채취유량을 0.025-0.05 L/min으로 권고 하고 있지만 기존의 작업환경측정 결과와 동일한 조건에서 비교하기 위해 4차 방법을 적용하였다. 최고노출기준(Ceiling, C)으로 평가를 하기 위해 약 15 분 동안 채취하였다. 채취가 완료된 시료는 당일 상온 운반하여 당일 분석을 실시하였다. 분석은 분광광도계(UV-Vis Spectrophotometer, UV mini-1240, Shimadzu, Japan)를 이용하여 실시하였다.

## III. 연구 결과

### 1. 사업장 사용 화학물질 확인 결과

월 기준 수산화나트륨(25 kg), 염산(200 kg), 황산(80 kg), 염화니켈(20 kg), 황산니켈(100 kg), 시안화나트륨(150 kg), 시안화칼륨(0.83 kg), 청화은(0.25 kg), 청화동(60 kg) 등 도금 사업장 특성상 매우 다양한 물질을 사용하고 있었다. 해당 사업장에서 발생할 수 있는 유해 물질은 시안화수소, 산, 수산화나트륨, 중금속 등이다(Table 1).

### 2. 과거 시안화수소 작업환경측정 자료 검토

해당 사업장에 대하여 과거 작업환경측정 자료 검토 결과 근로자 2인에 대하여 시안화수소에 대한 작업환경 측정을 실시하였음을 확인하였다. 측정 결과는 2017년 상반기에 0.251-0.284 ppm, 2017년 하반기에 0.063-0.184 ppm, 2018년 상반기에 0.388-0.405 ppm이었다(Table 2).

### 3. 공기 중 시안화수소 측정결과

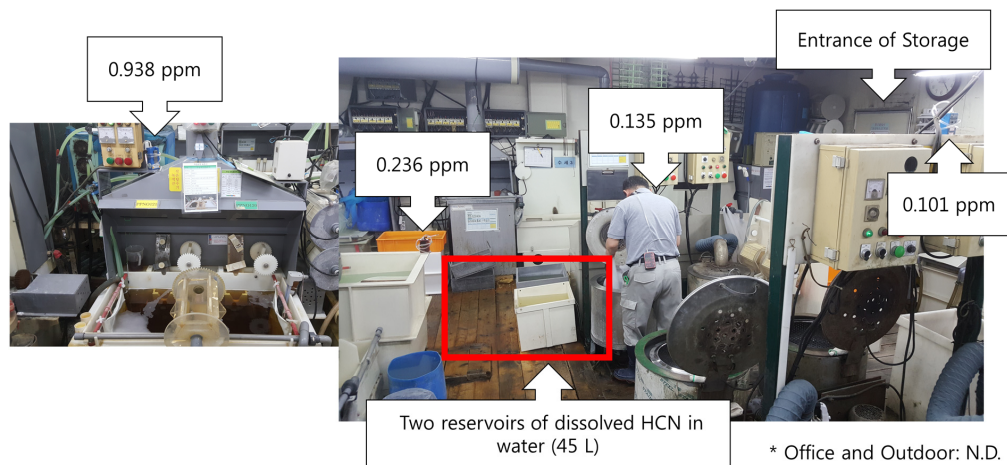
재해자와 사고당시 유사한 업무를 하는 근로자에게 개인시료를 측정한 결과 시안화수소가 0.135 ppm 검출되었다(Figure 1). 지역시료채취 결과, 사고가 발생한 지점 근처 국소배기장치가 작동되고 있는 도금조에서

**Table 1.** Description of used material at the workplace.

Material	CAS No.	Amount per month (kg)	Purpose
Sodium hydroxide	1310-73-2	25	Plating
Hydrochloric acid	7647-01-0	200	
Sulfuric acid	7664-93-9	80	
Nickel chloride	7718-54-9	20	
Nickel sulfate	7786-81-4	100	
Sodium cyanide	143-33-9	150	
Copper cyanide	544-92-3	60	
Silver cyanide	506-64-9	0.25	
Potassium Cyanide	151-50-8	0.83	

**Table 2.** Hydrogen cyanide concentration results from previous workplace environment measurement in the air

Period	Concentration of airborne hydrogen cyanide (ppm)		
	First half of 2017	Second half of 2017	First half of 2018
Worker 1	0.284	0.184	0.405
Worker 2	0.251	0.063	0.388



**Fig. 1.** Field of occupational poisoning by cyanide compounds with hydrogen cyanide concentration.

**Table 3.** Concentration of hydrogen cyanide at the workplace(Ceiling limit)

Process	Location	Type	Volume (L)	Concentration (ppm)
Plating	-	Personal	2.93	0.135
	Plating bath with local exhaust ventilation	Area	3.12	0.938
	Near the accident bath	Area	2.99	0.236
	Dehydrator	Area	3.09	0.101
	Office	Area	2.81	N.D.*
	Outdoor	Area	3.05	N.D.*

\*N.D.= Non-Detected, LOD: 0.2202  $\mu\text{g}/\text{sample}$

0.938 ppm, 사고가 발생한 수조 앞에서 0.236 ppm, 탈수기 앞에서 0.101 ppm이 검출되었다. 배경농도 측정을 위해 선정된 사무실과 외부의 공기에서는 시안화수소가 검출되지 않았다(Table 3).

## IV. 고 찰

이 연구에서는 시안화수소에 의하여 급성중독질환이 발생하여 사망사고가 생긴 사업장에서 공기 중 농도를 측

정하고 평가하였다. 사고당시의 상황 재현은 안전을 위하여 작업을 최소화한 상황에서 실시하였다. 그 결과 근로자가 사망에 이르는 수준 까지 농도가 검출되지는 않았지만 작업을 최소화 한 상황에서도 공기 중에서 시안화수소가 검출되었고, 특히 국소배기장치가 있는 도금조 작업위치에서도 노출 기준의 20% 수준의 시안화수소가 검출되었다. 사고 당시의 공기 중 시안화수소의 농도는 알 수가 없었지만, 측정 결과와 재해자의 임상양상을 볼 때 작업과 사고가 발생했을 당시에는 공기 중 시안화수소의 농도가 순간적으로 고농도였고 호흡보호구를 착용하지 않은 상황에서 사고가 발생 했을 것으로 추정된다.

이번 급성중독질환에 의한 사고조사를 통해 직업성 급성중독 질환 관리체계의 필요성을 다시 한 번 확인하였다. 특히 임상의학인 응급의학과 산업보건의 상호 협조가 사례 인지와 원인 파악 및 조기 개입에 매우 중요하다는 점을 확인하였다. 사고 발생 이후 측정 분야에서는 작업환경에 대하여 평가를 실시하고, 동시에 의학 분야에서는 환자의 상태를 지속적으로 관찰하면서 원인을 찾아 나갔다. 또한 직업성 급성중독 질환 관리체계 내 여러 협력 병원의 응급의학과와 네트워크를 통하여 상시/정기적으로 환자 정보를 수집하였고, 이를 통하여 다양한 형태의 급성중독과 직업병 발생을 파악하였다. 이번 사례도 기존의 문헌을 조사하고, 현장 조사를 통하여 평소에 하지 않던 작업인 시안화나트륨을 물에 배합하는 작업 직후 임상적 증상이 발생하였음을 확인하였다. 보호구 없이 작업을 시행한 점과 혈중 시안 이온이 확인된 점을 보았을 때, 시안화수소 중독의 개연성이 높다고 판단하였다. 또한 시안화나트륨을 옮겨 온 약품 창고에는 다양한 종류의 시안화합물(시안화칼륨, 시안화나트륨 등)이 있었으며 환기 시설이 없기 때문에, 약품 창고에서의 노출 가능성도 배제할 수 없었다. 이를 바탕으로 지역감시센터에서는 업무 관련성 시안화수소 중독을 강하게 의심하여 이에 대해 중앙감시본부에 보고하였고, 중앙감시본부는 중대재해 경보(KOSHA Alert)를 통해 동종 사업장에서 유사 사례를 예방하고자 하였다(KOSHA, 2018).

국내외에서 문헌을 찾아보아도 국내외에서 시안화수소가 근로자에게 노출되는 사업장에서의 노출평가 연구가 거의 없어 향후 연구가 더 필요하다. 이번 연구에서도 과거 작업환경측정 결과보다 상대적으로 높은 결과가 도출되었으나 건강상 영향을 줄 정도의 농도는 아니었다. 하지만 재해자가 작업했던 작업이나 방법에 따라

차이가 있을 수 있다는 것을 감안할 필요가 있다. 일반적으로 시안화수소는 플라스틱, 실크, 모, 합성섬유 등이 연소되면서 발생하고, 흡연을 할 때 발생한다(ATSDR, 1991). 직업적으로 노출될 수 있는 직업군은 도금 사업장 근로자와 소방관이다(Gracia & Shepherd, 2004; O'Brien et al., 2011). 소방관의 경우 화재 현장에서 연소에 의하여 발생하는 시안화수소에 노출될 수 있다. Fent et al.(2018)의 연구에 따르면, 소방관 개인시료채취 결과 화재 진압 시 중앙값으로 33.5 ppm(범위: 4.1-100.4 ppm), 구조 시 85 ppm(0.06-106 ppm), 잔불 정리 시 249 ppm(0.098-1.38 ppm), 지휘/펌프 작동 시 379 ppm(0.05-3.56 ppm)이 검출되었다. 화재현장의 거실에서 직접 채취한 농도는 중앙값으로 168 ppm(0.12-689 ppm)이 검출되어 최고노출기준(C)이 4.7 ppm임을 감안했을 때 화재 현장에서는 시안화수소가 매우 높은 농도가 발생함을 알 수 있었다. 이에 소방관들은 화재현장에서 발생하는 시안화수소 발생 위험에 대하여 인지를 하고, 공기호흡기(Self-contained Breathing Apparatus, SCBA)와 같은 호흡보호구와 방화복을 올바르게 착용하여 시안화수소에 노출되지 않도록 조치하고 있다. 따라서 다른 직업군에서도 시안화수소는 급성독성질환의 원인물질이기 때문에 노출의 최소화가 아닌 절대 노출이 되지 않도록 하는 것이 중요하다.

이번 급성중독질환 사고사례는 사업장에서 근무한지 얼마 되지 않은 초심자가 유해물질에 대한 유해성 교육과 현장 상황에 맞는 호흡보호구 착용에 대한 교육을 받지 않은 상황에서 처음 근무를 하다가 발생 하였는데, 작업의 형태에서 기존의 근로자와 다르게 업무를 하면서 단시간 고농도에 노출이 되었을 것으로 추정된다. 예를 들면 산이나 물이 묻은 바가지를 사용하기 때문에 시안화나트륨이나 시안화칼륨이 저장된 용기에 바로 접촉을 하여 시안화수소가 발생할 수 있다. 시안화나트륨, 시안화칼륨은 산 또는 물과 반응하면 격렬하게 시안화수소를 방출한다(NIOSH, 2011).

근로자는 직무를 수행하기 전에 발생할 수 있는 모든 위험에 대한 알아야 할 권리가 있다. 이는 교육을 통하여 인지할 수 있다. 그러나 재해자는 근무를 시작한 지 얼마 되지 않은 초심자이고, 그동안 도금 작업에는 투입되지 않고 있다가 해당 작업 담당자의 부재로 긴급 투입되어 사고가 발생하였다. 작업환경관리 측면에서 본다면 사업주는 여러 가지 노력을 했어야 한다. 도금작업

에는 시안화합물을 사용해야 한다면 시안화합물의 발생원에서 근로자를 격리시켜 작업하든지, 푸시-풀 형태의 국소배기장치를 공정에 설치해야 한다. 하지만 해당 사업장의 경우 국소배기장치가 있으나 잘 작동하지 않는 것을 현장평가에서 확인하였다. 유해화학물질을 다루는 근로자에게 충분히 교육을 해야 하는데, 재해자는 당일 긴급히 투입되어 시안화합물에 대한 지식이 전무한 상태였다. 또한 적절한 보호구 지급이 이루어지지 않았다. 재해자가 호흡보호구를 착용하지 않았었고, 착용했다라고 실제로 산과 시안화수소가 발생하는 사업장에 저농도 유기용제용 호흡보호구가 지급되어 근로자를 보호하지 못했을 것으로 추정된다. 일반적으로 시안화합물에 대한 위험은 다른 화학물질에 비하여 잘 알려져 있고, 경력자들은 시안화합물을 다룰 때 호흡보호구를 착용하는데 재해자는 CCTV 확인 결과 호흡보호구를 착용하지 않은 점을 미루어 보았을 때 창고 내부에서 고농도의 시안화합물에 노출되었을 것으로 추정할 수 있다.

작업환경측정 제도에 있어서는 측정 부분에 대한 재점검이 필요하다. 작업환경측정 결과만 놓고 보면, 사고가 발생한 사업장의 경우 법의 테두리 안에서는 문제가 없었다. 제대로 측정된 결과라면 사고가 발생하지 말았어야 하는데 사고가 발생한 것이다. 그러나 과거 작업환경측정 결과에서 높은 수준의 시안화수소를 평가하지 못한 이유를 살펴보면 측정 제도의 문제점과 맞물려 있다고 할 수 있다.

이번 사고의 문제점을 두 가지로 정리하면 다음과 같다. 첫째, 노출수준이 가장 높은 근로자와 작업을 선정하여 측정하는 것(worst case sampling)이 수행되었는지에 대한 의문이다. 최고 수준에 노출이 될 것으로 판단되는 근로자를 예비조사에서 선정하고 본 측정에서 평가를 하는 것이 작업환경측정의 기본 원칙 중 하나이다. 그러나 예비조사를 할 때 작업의 형태를 상세히 확인하지 않고 본 측정을 진행하면 최고 노출 가능 근로자의 파악과 해당 작업에 대한 노출수준이 제대로 평가되지 않을 수 있다. 예비조사에서 중요한 것은 전문가적 판단과 동시에 사업주의 적극적인 협조가 필요하다. 예비조사를 철저하게 수행하여 작업의 형태를 정확히 확인하고, 전문가로서 최고 노출 근로자와 작업을 찾는 능력을 기르는 노력을 해야 한다.

둘째, 최고노출기준이 설정된 물질에 대한 측정 방법이 다르다는 점이다. 시안화수소는 최고노출기준이 설정되어 있는 물질이다. 고용노동부 고시 「화학물질 및

물리적 인자의 노출 기준」에 따르면, 최고노출기준이란 “근로자가 1일 작업시간 동안 잠시라도 노출되어서는 아니되는 기준”이라고 되어 있고, 「작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시」에서는 “노출 기준 고시에 최고노출기준이 설정되어 있는 대상 물질을 측정하는 경우에는 최고 노출 수준을 평가할 수 있는 최소한의 시간 동안 측정하여야 한다.”라고 되어 있다. 그런데 ‘최소한의 시간’이라는 표현이 매우 모호하다. 현장에서는 일반적으로 최고노출기준이 설정되어 있는 물질의 경우 15분을 일률적으로 적용하여 측정하며, 근로감독관도 지도를 할 때 15분 동안 측정하도록 설명하고 있다. 하지만 대상 물질의 발생 특성을 고려하지 않고 15분이라는 일률적인 기준을 적용하는 것은 적절하지 않다. 이번 사고의 경우에도 CCTV를 분석한 결과 근로자가 노출된 지 약 5분 만에 쓰러졌고, 증언에 따르면 그 작업은 항상 같은 방식으로 진행해 온 작업이었다. 만약 시안화수소 농도를 15분에 맞추어 측정하면 농도는 낮게 평가될 것이고, 이는 위험성이 과소평가될 가능성이 높다. 따라서 이번 사고와 같은 문제를 해결하기 위해서는 다양한 상황에서 최고노출기준, 단시간 노출에 대한 측정 방법의 논의와 연구가 이루어져야 한다. 예를 들어 도금산업에서는 시안화수소 측정에 있어서 시안화합물 용해작업과 같이 측정을 할 때 반드시 포함되어야 하는 작업과 측정지점을 개발하기 위한 연구가 필요하다. 또한, 실시간으로 농도를 검출하여 평가하는 측정기기를 이용하는 것에 대한 검토도 필요하다. 일산화탄소, 황화수소와 같이 밀폐공간에서 발생할 수 있는 물질들은 직독식 측정기를 이용한 측정을 허용하는 것과 같이 시안화수소와 같은 급성독성 가능 물질에 대해서도 직독식 측정 및 상시 측정을 통한 작업환경관리방법 검토가 필요하다. 특히 최고노출기준 또는 단시간노출기준(Short Term Exposure Limit, STEL)이 설정되어 있는 물질의 경우 측정 전 정밀한 예비 조사 및 사업장 환경관리가 필요하다.

국내 습식 표면 가공업체는 3,000개 이상으로 추산되며, 그중 전기도금업체가 50% 이상이다. 10인 미만 사업장이 전체의 50% 정도이며, 50인 미만 사업장이 98.2%로 대부분을 차지한다(KOSHA, 2018). 도금 공정은 고용노동부령 「유해 위험작업의 취업 제한에 관한 규칙」 제3조에서 정하고 있는 자격, 면허, 경험 등이 필요한 작업에 포함되어 있지 않다. 그러나 도금 사업장에서는 독성이 높은 화학물질을 다량 사용하므로 숙련도

지 않은 근로자들이 작업할 때 재해 발생의 위험이 높기 때문에 관심을 두고 관리를 해야 하는 업종이다.

## V. 결 론

전통적 산업인 도금 사업장에서 시안화수소에 의한 급성중독질환이 발생하였고, 해당 근로자는 사망하였다. 사고가 발생한 후 즉시 해당 사업장에서 작업환경에 대한 측정 및 평가를 실시한 결과, 시안화수소가 노출기준의 20% 수준으로 검출이 되었고 실제 사고 당시에는 농도가 더 높았을 것으로 추정된다. 재발을 방지하기 위해서는 평소 작업환경관리를 철저히 해야 한다. 사업주는 근로자와 작업환경측정기관에 정확한 정보를 제공해야 하고, 작업환경측정을 할 때는 상세한 예비조사를 포함하여 정확한 방법으로 실효성 있는 평가를 해야 한다. 또한 실시간 측정기기의 사용 확대 허용하는 방법과 같이 산업위생분야에서 급성중독가능 물질의 측정방법을 개선하는 연구가 필요하다.

직업성 급성중독질환은 초기 단계에 의심하고 관련 내용을 조사하지 않으면 놓치기 쉽기 때문에 응급의학을 비롯한 임상의학 분야와 산업보건 분야의 협력이 반드시 필요하다. 또한 직업성 급성중독질환 예방관리를 위한 감시체계가 정교해지고 보다 확대될 필요가 있다.

## 감사의 글

이 연구는 산업안전보건연구원의 2018년 위탁연구사업 중 일부입니다.

## References

- ATSDR, Cyanide toxicity. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1991
- Ballantyne B, Marrs TC: Post-mortem features and criteria for the diagnosis of acute lethal cyanide poisoning. In: Clinical and Experimental Toxicology of Cyanides. John Wright, 1987:217-247
- Baud FJ. Cyanide: critical issues in diagnosis and treatment. Hum Exp Toxicol. 2007;26(3):191-201 (DOI: 10.1177/0960327107070566)
- Bebarta VS, Pitotti RL, Dixon P, Lairet JR, Bush A et al. Hydroxocobalamin versus sodium thiosulfate for the treatment of acute cyanide toxicity in a swine(Sus scrofa) model, Annals of Emerg Med. 2012;59(6): 532-539 (DOI: 10.1016/j.annemergmed.2012.01.022)
- Fent KW, Alexander B, Roberts J, Robertson S, Toennis C et al. Contamination of firefighter personal protective equipment and skin and the effectiveness of decontamination procedures. J of Occup and Environ Hyg. 2017;14(10):801-814 (DOI: <https://doi.org/10.1080/15459624.2017.1334904>)
- Gracia R & Shepherd G. Cyanide poisoning and its treatment, Pharmacotherapy. 2004;24(10):1358-1365 (DOI: 10.1592/phco.24.14.1358.43149)
- Hall AH, Saiers J, Baud F. Which cyanide antidote?, Crit Rev in Tox. 2009;39(7):541-552 (DOI: 10.1080/10408440802304944)
- Holstege CP, Isom GE, Kirk MA Cyanide and hydrogen sulfide, Goldfrank's toxicologic emergencies(8th ed), Appleton Lange, 2006:1712-1727
- Kim YW, Eom YJ. A Case of Hydrogen Cyanide Inhalation at Working-A Case Report, J of Kor Soc of Clin Tox. 2006;4(1):55-57
- Kumar S, Pande, S, Verma P. Factor Effecting Electro-Deposition Process, Int J of Cur Eng and Tech, 2015;5(2):700-703
- NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health), Emergency Response Safety and Health Database, Sodium Cyanide, 2011 [Accessed 2019 June 5]. Available from: [https://www.cdc.gov/niosh/ershdb/emergencyresponsecard\\_29750036.html](https://www.cdc.gov/niosh/ershdb/emergencyresponsecard_29750036.html)
- NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health), Manual of Analytical Methods 5th Edition, 2017 [Accessed 2019 September 20]. Available from: [https://www.cdc.gov/niosh/nmam/pdfs/NMAM\\_5thEd\\_EBook.pdf](https://www.cdc.gov/niosh/nmam/pdfs/NMAM_5thEd_EBook.pdf)
- NRC(National Research Council). Acute exposure guideline levels for selected airborne chemicals(Vol. 2). National Academies Press, 2002
- KOSHA. Occupational poisoning surveillance system, 2017
- KOSHA. Occupational poisoning surveillance system, 2018
- O'Brien DJ, Walsh DW, Terriff CM, Hall AH, Empiric management of cyanide toxicity associated with smoke inhalation, Prehospital and Disaster Medicine. 2011;26(5):374-382 (DOI: 10.1017/S1049023X11006625)
- Rhee KW, Park MH. A Study on the Safety Assessment of Zinc Plating Process, J of Kor Soc of Saf. 2009;18(4): 148-154.

## <저자정보>

함승헌(교수), 최원준(교수), 이준형(전공의, 대학원생), 임용수(교수), 강지현(기술사), 강성규(교수)