

## 급성 규폐증이 발생한 규조토 분말 취급 작업장의 결정형 실리카 노출평가: 역학조사 사례

김부욱\* · 김대호 · 김형렬<sup>1</sup> · 최병순

근로복지공단 직업환경연구원, <sup>1</sup>가톨릭대학교 직업환경의학교실

### Exposure Assessment of Crystalline Silica in Diatomite Powder Handling Workplace with Acute Silicosis

Boobook Kim\* · Daeho Kim · Hyoung-Ryoul Kim<sup>1</sup> · Byung-Soon Choi

*Institute of Occupation and Environment, Korea Workers' Compensation & Welfare Service*

*<sup>1</sup>Department of Occupational and Environmental Medicine, College of Medicine,  
The Catholic University of Korea*

#### ABSTRACT

**Objectives:** A 46-year-old woman who had worked on cleaning stainless steel containers with Initially unknown powders died from acute silicosis. To determine whether the acute silicosis was related to his work environment, we conducted exposure assessment the level of exposure to respirable crystalline silica(RCS) during cleaning stainless steel containers with unknown powders.

**Methods:** The exposure assessment of RCS were undertaken according to the National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH) method 7500. The components of the unknown powder were analyzed using X-ray Diffraction.

**Results:** The unknown powder was found to be natural diatomaceous earth, which contained 12% and 9% quartz and cristobalite, respectively, crystalline silica. In the case of cleaning stainless steel containers with diatomaceous earth powder, the primary measurement resulted in 1.3 times higher occupational exposure limit of MOEL(in sum of quartz and cristobalite concentration) and 3.9 times higher in secondary measurement. The workbench was equipped with a local exhaust system, but because there was no hood at the end of the duct, the wind speed at the opening of the duct was 12 m/sec, whereas the controlled wind speed at the working position was only 0.3 m/sec below the legal standard.

**Conclusions:** There is an urgent need to install the hood, conduct safety and health education for employers and workers, and periodically monitoring and manage the working environment.

**Key words:** acute silicosis, crystalline silica, diatomite powder, exposure assessment, workplace

#### I. 서 론


여성 근로자 A씨는 40대 중반인 1994년 4월부터 22년 4개월간 인천시에 위치한 주방용 스테인리스 스틸(스텐) 용기의 광택 가공을 하는 업체인 A업체에서 최초 정제 미상의 세라믹 분말로 용기를 세척하고 포장


하는 작업을 수행한 후 2016년 9월에 A병원에서 과민성 폐렴을 진단받아, 2017년 6월 산재보험 요양급여/휴업급여 신청서를 근로복지공단에 제출하였다. 이후 증상이 악화되어 급성 호흡곤란 증후군으로 2018년 4월 사망하였고, 추가적인 조직검사 소견과 영상판독 결과 및 작업환경평가 결과로 볼 때 이전에는 없었던 규


\*Corresponding author: Boobook Kim, Tel: 032-540-4968, E-mail: labor7@gmail.com


2F Incheon Labor & Welfare Complex, 478, Munemi-ro, Bupyeong-gu, Incheon 21417

Received: September 3, 2019, Revised: September 17, 2019, Accepted: September 25, 2019

 Boobook Kim <http://orcid.org/0000-0001-6869-2320>

 Daeho Kim <http://orcid.org/0000-0002-7355-4165>

 Hyoung-Ryoul Kim <https://orcid.org/0000-0001-7535-3140>

 Byung-Soon Choi <http://orcid.org/0000-0003-3551-0804>

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.

폐증이 2015년 이후로 급격히 진행된 급성 규폐증으로 진단되었다. A업체는 2015년 8월에 현재의 위치로 이전하였는데 근로자 A씨는 현재의 공장으로 이전한 후 국소배기 장치의 작동이 원활하지 않아 호흡이 곤란하였다고 진술하였고, 사업주는 국소배기 장치를 포함해 각종 설비는 이전 공장에서 사용하던 것을 그대로 이전해와 사용하고 있어 국소배기 장치의 성능은 과거와 현재 모두 같은 상태라고 진술하였다.

근로자 A씨는 근무기간의 대부분을 분말 세척 작업을 하였고 퇴사 직전 6개월 정도만 파레트에 적재된 용기를 랩으로 포장하는 작업을 하였다.

세척용 분말의 물질안전보건자료(Material Safety Data Sheet, MSDS)가 비치되어 있지 않아 분말의 정체를 알 수가 없었고, 작업환경측정도 실시된 적이 없어 분말 세척 작업자의 분진 노출수준도 알 수 없었다.

이에 본 연구원에서는 근로자 A씨의 업무상 질병 여부를 판단하기 위해 근로자 A씨의 진술서, 의무기록 등의 각종 자료를 검토하고 사업장 방문조사, 관계자 면담 및 작업환경측정 및 평가를 실시하였다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 연구 대상

A업체는 외부업체에서 납품 받은 스텐 용기에 광택을 생성하는 업체로 작업공정은 스텐 용기 입고 → 1차 내부연마 → 1차 외부광택 → 분말 세척 → 바닥면 연마 → 2차 내부연마 → 2차 외부광택 → 포장 공정 순으로 이루어진다.

1차 내부연마 작업은 회전 작업대에서 회전하고 있는 용기의 내부면을 샌드페이퍼로 눌러 용기의 내부를 연마하는 작업이고, 1차 외부광택 작업은 비누형태의 산화알루미늄 블록을 용기에 바른 후 고속으로 회전하고 있는 나무원단에 용기를 마찰시켜 광택을 생성하는 작업이다.

분말 세척 작업은 스텐용기의 내외부 이물질과 기름때를 닦아내는 작업으로 연노랑색의 모래 형태의 분말을 스펀지에 묻혀서 용기를 닦는 작업이다. 스펀지에 분말을 콧속 쪽에 묻힐 때와 용기를 닦을 때에 분말이 공기 중으로 비산되는 것이 관찰되었다. 분말 세척 작업대에는 '플렉시블 자바라' 형태의 국소배기 장치가 가동되고 있었지만, 하루 1,000개 이상의 용기를 빠르게 닦기 때문에 분말이 지속적으로 비산되고 있었고, 덕트의 끝

단에는 후드가 없어서 비산되는 분말이 제대로 포집되지 않았다. 바닥면 연마 작업도 용기의 바닥면을 샌드페이퍼로 연마하는 작업이고, 2차 내부연마 작업은 1차 내부연마 작업과 동일하다. 2차 광택 작업은 마무리 광택 공정으로 용기에 산화알루미늄을 바르지 않고 나무원단 마찰로만 광택을 낸다. 이후 파레트에 적재된 용기들을 비닐로 포장한 후 출하한다.

작업자는 총 15명으로 연마 및 광택 공정에 12명, 분말 세척 1명, 포장 2명이었고, 공장의 크기가 크지 않아서(가로 18 m × 세로 11 m × 높이 5 m) 작업자들은 모두 인접한 위치에서 작업하고 있었으며, 포장 작업과 광택 작업은 분말 세척 작업과 약 1~2 m 떨어진 가까운 위치에서 작업이 이루어지고 있었다. 평균 근무 일수는 주 6일이며 근무시간은 오전 8시 30분에서 오후 5시 30분까지 이었다.

### 2. 연구 방법

#### 1) 분말의 성분 분석

A업체에는 세척용 분말의 MSDS와 성분에 관한 자료가 비치되어 있지 않아서 분말의 정체를 알 수 없었다. A업체에 분말을 납품하는 세라믹 분말 도매상인 B업체를 방문하였으나 B업체에서도 분말의 MSDS는 없었고, 영문 성분분석표만 입수할 수 있었다. 성분분석표에는 시료명칭은 '구조토 분말', 성분은 SiO<sub>2</sub> 73.15%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 12.3%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.3%, CaO 0.6%이었고, 분말은 구조토 산지인 경북 포항에 위치하는 구조토 생산업체로부터 공급 받고 있다고 하였다.

한편 광물 및 세라믹 분말의 성분분석표에 제시되어 있는 성분과 함량은 일반적인 산화물 형태로 제시되어 있기 때문에 성분분석표의 SiO<sub>2</sub>의 함량이 결정형 실리카(crystalline silica)로서 SiO<sub>2</sub>를 나타내는지 알 수 없기 때문에 별도의 결정구조 분석이 필요하다고 판단되었다. 따라서 A업체에서 작업자가 사용하고 있던 분말을 가져와 별도의 전처리 없이 비파괴 방법으로 분말시료의 결정구조를 분석하는 X선회절분석(X-ray diffraction, XRD, D8 Advance, Bruker Corp., Germany)과 비파괴 방법으로 화학적 성분을 분석하는 X선형광분석(X-ray fluorescence, XRF, S2 Ranger, Bruker Corp., Germany)을 실시하였다. 더불어 2015년 이후로 규폐증이 나타나고 급격히 진행되었기 때문에, B업체를 방문하여 2015년 이전에 입고된 분말(2012년)과 최근에 입고된 분말을 입수해 추가로 XRD 분석을 하였다.

## 2) 작업환경측정 및 분석

2018년 11월 28일, 2019년 2월 18일 2회에 걸쳐 작업 환경측정을 실시하였다. 측정 항목은 총분진, 호흡성분진, 결정형 실리카, 금속류, 6가크롬 이었고, 측정 및 분석 방법은 각각 미국산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety & Health, NIOSH) 공정시험법(NIOSH, 2006) 0500, 0600, 7500, 7300, 7605 방법에 준하여 실시하였다. 스텐용기에 산화알루미늄 광택제를 바르고 고속으로 마찰시켜 광택을 내기 때문에 마모에 의한 스텐용기 표면성분의 비산과 스텐의 성분인 크롬이 6가크롬으로 산화되어 비산될 가능성도 배제할 수 없기 때문에 금속류와 6가크롬도 평가하였다.

근로자 A씨가 작업하였던 분말 세척과 포장 작업은 개인시료와 지역시료를 함께 측정하였고, 나머지 공정은 지역시료 방법으로 측정하였다. 지역시료 측정위치는 작업자의 작업위치에서 1 m 이내로 하였다. 분말 세척 작업자의 1차 측정시에는 공정시험법에 의한 측정과 동시에 개인시료 측정용 디지털분진측정기(SidePak personal aerosol monitor, AM520, TSI Inc., USA)에 제조사에서 제공된 사이클론을 연결해 실시간 호흡성분진 농도도 측정하였다. 디지털분진측정기의 교정상수(calibration factor)는 일반적인 상황에서의 기본조건(factory default)인 1.0으로 설정하였고, 데이터 저장간격은 1분으로 설정하였다.

## 3) 국소배기장치 풍속 측정

산업안전보건규칙 제429조에는 관리대상 유해물질의 국소배기장치의 성능에 관해 규정하고 있다. 따라서 분말 세척 작업위치와 덕트 개구면에서 바람개비 풍속계(Testo 410-2, Testo Inc., Germany)를 이용해 제어 풍속을 측정하였다.

# III. 결 과

## 1. 세척제 분말 분석 결과

조사당시 A업체에서 사용하고 있던 세척제 분말을 XRD로 분석한 결과 결정형 실리카인 석영(quartz)과 크리스토포라이트(cristobalite)가 각각 12%, 9% 함유되어 있었고, 기타 결정형 물질 일부를 제외하고 나머지 대부분은 XRD에서 동정되지 않는 비결정형 물질이었다. XRF 분석 결과는 SiO<sub>2</sub> 78.0%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 6.76%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 6.23%, K<sub>2</sub>O 3.06%, CaO 1.58% 등으로 나타났다. 그리

고 B업체에서 입수해 온 2012년에 입고된 분말과 최근에 입고된 분말의 성분도 A업체에서 조사당시 사용하고 있던 분말의 성분 및 함량과 거의 유사하여 동일한 산지에서 지속적으로 채굴된 광물임을 알 수 있었다.

## 2. 작업환경측정 결과

분말 세척 작업자의 총분진 농도는 1차와 2차가 각각 10.426 mg/m<sup>3</sup>, 23.479 mg/m<sup>3</sup>으로 매우 높았고 호흡성분진 농도는 각각 0.434 mg/m<sup>3</sup>, 1.434 mg/m<sup>3</sup>이었는데 총분진과 마찬가지로 1차에 비해 2차에서 2배 이상 높았다. 호흡성 결정형 실리카(respirable crystalline silica, RCS) 농도도 1차와 2차가 각각 석영은 0.042 mg/m<sup>3</sup>, 0.091 mg/m<sup>3</sup>, 크리스토포라이트는 0.025 mg/m<sup>3</sup>, 0.106 mg/m<sup>3</sup>이었고, 2차의 농도는 석영과 크리스토포라이트를 각각 단일 물질로 보더라도 고용노동부 노출기준인 0.05 mg/m<sup>3</sup>을 초과하였으며, 1차의 결과도 석영과 크리스토포라이트의 농도를 혼합물질로 합해서 볼 때 노출기준을 초과하였다. 1차 측정에 비해 2차 측정할 당시에 분말 세척 작업량이 더 많아 분말이 공기 중으로 더 많이 비산되었기 때문으로 판단된다. 포장 작업자의 총분진 농도는 1.319 mg/m<sup>3</sup>(1차), 2.691 mg/m<sup>3</sup>(2차)이었고, 호흡성분진 농도는 0.153 mg/m<sup>3</sup>(1차), 0.378 mg/m<sup>3</sup>(2차)으로 분말 세척 작업자 보다는 낮았다. 석영의 농도는 노출기준의 1/2 미만인 0.008 mg/m<sup>3</sup>(1차), 0.014 mg/m<sup>3</sup>(2차)이었고, 크리스토포라이트는 검출되지 않았다. 지역시료의 농도는 분말 세척 작업과 포장 작업 모두 개인시료 보다 낮게 나타났다. 연마 작업의 총분진 농도는 1.083 mg/m<sup>3</sup>(1차), 1.831 mg/m<sup>3</sup>(2차)이었고, 호흡성분진 농도는 0.455 mg/m<sup>3</sup>(1차), 0.327 mg/m<sup>3</sup>(2차), 석영 농도는 0.006 mg/m<sup>3</sup>(1차), 0.007 mg/m<sup>3</sup>(2차)로 1차와 2차의 농도가 유사하면서 분말 세척 작업에 비해 농도가 낮았는데, 이는 분말 세척 작업에서 발생하는 분진은 상대적으로 입자의 크기가 큰 모래 형태의 구조토 분말이지만, 연마작업에서 발생하는 분진은 스텐 용기와 샌드페이퍼가 마찰하면서 발생하는 미세한 분진이 주를 이루기 때문으로 판단된다. 광택 작업의 총분진 농도는 6.172 mg/m<sup>3</sup>(1차), 9.978 mg/m<sup>3</sup>(2차)이었고, 호흡성분진 농도는 0.520 mg/m<sup>3</sup>(1차), 3.239 mg/m<sup>3</sup>(2차), 석영 농도는 0.009 mg/m<sup>3</sup>(1차), 0.030 mg/m<sup>3</sup>(2차), 크리스토포라이트는 2차에서만 0.022 mg/m<sup>3</sup> 검출되었다. 광택 작업의 분진의 농도는 높은 편이지만, 석영과 크리스토포라이트의 농도는 분말 세척 작업에 비해 상대적으로 낮았는데, 이는 광택 작업 바로 옆에서 분말 세척 작업을 수행하기



**Figure 1.** Cleaning stainless steel containers using diatomaceous earth powder

때문에 분말 분진에도 노출되지만, 광택작업에서는 스텐 용기와 나무원단이 고속으로 마찰하면서 발생하는 분진이 주를 이루기 때문에 광택작업에서 발생하는 입자의 특성이 분말 세척 작업과는 다르기 때문으로 해석된다 (Table 1).

각종 금속의 농도는 RCS와 마찬가지로 분말 세척 작업자 개인시료에서 가장 높았고, 화학성분은 스텐용기, 산화알루미늄 광택제, 구조토의 성분인 철, 니켈, 크롬, 알루미늄, 실리콘 등이 검출되었으나 노출기준에 비해 매우 낮았고 (Table 2), 6가크롬은 모든 시료에서 검출되지 않았다.

**Table 1.** Concentration of airborne dust and crystalline silica by process

(Unit : mg/m<sup>3</sup>)

Process	ST*	Duration (min)		Total dust		Respirable dust		Quartz		Cristobalite	
		1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
Powder cleaning	P <sup>†</sup>	192	293	10.426	23.479	0.434	1.434	0.042	0.091	0.025	0.106
	A	306	293	0.824	1.928	0.522	0.570	0.012	0.017	0.004	0.016
Packing	P	304	194	1.319	2.691	0.153	0.378	0.008	0.014	ND <sup>§</sup>	ND
	A	288	203	0.633	4.578	0.496	0.409	0.005	0.016	ND	ND
Grinding	A	281	316	1.083	1.831	0.455	0.327	0.006	0.007	ND	ND
Polishing	A	303	190	6.172	9.978	0.520	3.239	0.009	0.030	ND	0.022
Outdoor	A	304	-	0.236	-	0.011	-	ND	-	ND	-

\*ST : sampling type

<sup>†</sup>P : personal sampling

<sup>‡</sup>A : area sampling

<sup>§</sup>ND : not detected

**Table 2.** Concentration of airborne metals by process

(Unit : mg/m<sup>3</sup>)

Metals	Powder cleaning		Packing				Grinding		Polishing		Factory entrance		
	Personal		Area		Personal		Area		Area		Area		
	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	1st		
Al	0.0628	0.3863	0.0158	0.0222	0.0073	0.0143	0.0070	0.0127	ND*	0.0066	0.0147	0.0288	0.0102
Mn	0.0047	0.0149	0.0030	0.032	0.0032	0.0137	0.0039	0.0144	0.0012	0.0028	0.0122	0.0388	0.0019
Fe	0.1296	0.7251	0.0759	0.1046	0.0850	0.2615	0.1054	0.3730	0.0666	0.1147	0.3614	0.7741	0.0003
Ni	0.0049	0.0410	0.0112	0.0050	0.0086	0.0145	0.0189	0.0309	0.0136	0.0087	0.0538	0.0505	ND
Cr	0.0221	0.0971	0.0293	0.0191	0.0188	0.0577	0.0442	0.0861	0.0365	0.0246	0.1768	0.1796	ND
Cu	0.0042	0.0029	0.0018	0.0012	0.0032	0.0026	0.0016	0.0028	0.0026	0.0007	0.0025	0.0048	0.0044
Zn	0.0050	0.0019	0.0033	0.0004	0.0023	0.0004	0.0010	ND	0.0011	0.0003	0.0011	ND	0.0059
Co	0.0008	0.0016	0.0003	0.0002	0.0004	0.0006	0.0005	0.0010	0.0004	0.0003	0.0016	0.0019	0.0013
Cd	0.0001	-	ND	-	ND	-	0.0001	-	ND	-	ND	-	0.0002
Pb	0.0016	0.0065	0.0005	0.0007	0.0003	0.0005	0.0002	0.0006	0.0003	0.002	0.0002	0.006	0.0004
Si	0.0485	0.0876	0.0120	0.0165	0.0066	0.0253	0.0065	0.0320	0.0099	0.0185	0.0084	0.0845	0.0058

\*ND : not detected

디지털분진측정기에 의한 실시간 호흡성분진 농도는 평균 0.435 mg/m<sup>3</sup>으로 공정시험법(중량법)으로 평가한 호흡성분진 농도와 거의 같았고, 범위는 0.074 mg/m<sup>3</sup>~3.316 mg/m<sup>3</sup>, 표준편차는 0.328 mg/m<sup>3</sup>이었다.

### 3. 제어풍속 측정결과

후드 개구면(후드가 없으니 덕트 끝단의 개구면)에서의 풍속은 약 12 m/sec이었으나, 작업위치에서의 제어 풍속은 약 0.3 m/sec으로 매우 낮았다.

## IV. 고 찰

구조토는 자연적으로 생성되는 구조 광물로서 대부분 비결정형 실리카로 구성되어 있고 알루미늄, 철 등의 기타 성분이 수% 함유되어 있다.

구조토는 표면이 다공성의 구조로 되어 있어 습기와 오염물질을 흡착하는 특성으로 인해 흡습제, 시멘트, 페인트, 흡수제, 결로 방지제 등 다양한 용도로 사용되고 있고, 최근에는 가정용 발매트 등 생활환경에서도 사용되며 용도가 늘어나고 있다.

구조토는 광산에서 채취한 후 3가지 형태의 제품으로 제조되는데 단지 건조와 분쇄를 거친 천연상태의 분말 제품(연회색 및 황토색)과 870°C~1,090°C의 가열을 거쳐 유기불순물을 제거하고 공극 크기의 증가와 더욱 단단해져서 여과재 등으로 사용되는 구조토(약간 붉은색)와 소다회, 염화나트륨, 수산화나트륨과 같은 용결재를 2% 첨가한 후 1200°C로 가열하여 용결제와 철의 반응으로 백색화된 구조토로 주로 충전제로 사용되는 구조토 분말이 있다(Yu, 2000).

구조토는 자연상태에서는 65~90% 비결정형 실리카로 이루어져 있으나 결정형 실리카는 4% 이하이며 크리스토프라이트는 단지 1% 정도만 함유되어 있어 자연상태의 구조토에 노출되어서 구조토폐증이 발생 가능한지는 의견이 다양하나 오랜 기간 노출되면 약한 규폐증(진폐증)이 발생할 수 있다고 알려져 있다. 그러나 자연상태의 구조토에 열을 가하면 비결정형 실리카가 결정형 실리카로 변환되어 크리스토프라이트가 60% 가량 함유되게 되는데 우리나라에서도 1992년 구조토폐증이 최초로 보고되었다(Lim et al., 1992). 그러나 본 사례에서는 소성을 하지 않은 구조토임에도 결정형 실리카인 석영과 크리스토프라이트가 각각 12%, 9%로 고농도로 함유된 것으로 나타나 그동안 국내외적으로 산업보건 분야에서 거의

보고된 적이 없는 이례적인 경우이다. 이에 관련 문헌을 검토하였더니 경상북도 감포 지역과 달리 포항 흥해 지역 산 구조토는 상전이 과정과 규질 속성변질작용(silica diagenesis)으로 결정화가 많이 진행되어 석영, 크리스토프라이트 및 트리디마이트(tridymite) 함유되어 있는 저품위 구조토로써 우리나라 특정지역에서 생산된 구조토에만 해당되는 특수한 경우로 보인다(Noh, 2006).

한편, 본 사례에서 또 주목할 점은 최초에는 과민성 폐렴으로 진단되었지만, 추가적인 조직검사와 영상판독 및 석영과 크리스토프라이트에 고농도로 노출된 것이 확인되면서 급성 규폐증으로 진단되었다. 22년간 동일한 작업을 하였는데 초기 21년간은 규폐증이 없다가 현재의 공장으로 이전한 뒤 1년 만에 규폐증이 발생하여 사망한 드문 경우로써 국내에서는 보고된 적이 없는 급성 규폐증이다.

규폐증은 만성 규폐증, 가속성 규폐증, 급성 규폐증으로 구분되는데 만성 규폐증은 규폐증 가장 흔하고 전형적인 형태로 저농도의 RCS에 10년 이상 장기간 노출되어 발생되며, 가속성 규폐증은 고농도의 RCS에 5년~10년 노출된 후 발생하며, 급성 규폐증은 고농도의 RCS에 수주 내지는 수개월의 노출만으로도 발생된다고 알려져 있다(NIOSH, 2004).

급성 규폐증은 1930년, 1931년 미국의 터널 공사현장에서 작업한 지 1년 이내에 많은 근로자에서 급성 규폐증이 발생하여 수백명의 사망자가 발생한 사건을 계기로 크게 알려지게 되었으며, 미국의 직업병 역사에서 가장 큰 사건으로 기록되고 있다. 급성 규폐증은 만성 규폐증과 가속성 규폐증에 비해 드물게 발생하며 단기간에 매우 고농도의 RCS 분진에 노출되어 발생하는 것으로 알려져 있는데 급성 규폐증 사례에서 RCS 노출수준에 관한 자료는 드물다.

체코에서는 철강제품을 샌드 블라스팅하는 작업자에서 가속성 규폐증이 발생되었는데, 이때 RCS 농도는 0.3 mg/m<sup>3</sup> 추정되었고(Hutyrová et al., 2015), 터키에서 결정형 실리카가 80% 정도 함유된 연마재(모래)를 고압으로 분사해 데넵 청바지를 제조하는 작업자에서 다수의 가속성 규폐증과 급성 규폐증이 보고되었는데, 모래에 노출된 지 짧게는 6개월~12개월, 대부분 노출된 지 3년 이내에 발생하였고, 이때의 분진 농도는 100 mg/m<sup>3</sup>에 근접하는 것으로 알려져 있어, 현재의 고용노동부 RCS 노출기준의 2,000배에 달하는 수준이다(Bayram & Ghio, 2011). 본 공장에서 구조토 분말로 스텐 용기

세척 작업시 RCS 농도(석영과 크리스토파라이트의 합)는 1차 측정에서는 0.067 mg/m<sup>3</sup>, 2차 측정에서는 0.197 mg/m<sup>3</sup>으로 고용노동부 노출기준을 초과하는 높은 농도였지만, 기존에 알려진 국내 업종별 RCS 노출농도(석탄 광업 0.14 mg/m<sup>3</sup>, 비금속 광물제품 제조업 0.111 mg/m<sup>3</sup>, 요업 0.108 mg/m<sup>3</sup>, 토목건설업 0.098 mg/m<sup>3</sup>으로 보고되었고(Yeon & Choi, 2017)와 비교해 볼 때 유사한 수준이며, Kim et al.(2018)에 의하면 아파트 건축 공사시 콘크리트 표면 연마 작업자에서 RCS 노출농도는 0.399 mg/m<sup>3</sup>, 화강석 건식 연마 작업자에서는 0.796 mg/m<sup>3</sup>으로 본 사례의 RCS 농도에 비해 훨씬 고농도로 노출됨에도 급성 규폐증이 흔히 보고되지 않은 점을 감안하면 본 사례의 급성 규폐증은 의문점을 자아낸다.

이에 추정되는 몇가지 이유는 첫째 위에 언급된 대부분의 결정형 실리카 노출업종에서는 석영 단일물질에 노출되지만 본 사례에서는 석영과 크리스토파라이트 두 가지 물질에 동시에 고농도로 노출되고 있다는 점이다. 더욱이 크리스토파라이트는 석영에 비해 독성이 더 높아 과거에는 ACGIH TLV와 고용노동부 노출기준이 석영에 비해 농도가 절반으로 낮았다(ACGIH, 2010). 둘째 이미 잘 알려진 결정형 실리카 노출업종에서는 작업자들의 방진마스크 착용실태가 비교적 양호하지만 본 사례의 분말 세척 작업자는 일반 면마스크만 적당히 걸친 채 작업하고 있기 때문에 실제 작업자의 호흡기에 침착되는 결정형 실리카의 양은 공기 중 농도가 유사한 작업장에 비해 훨씬 더 높았을 것이다.

산업안전보건기준의 관한 규칙 제429조 관련 별표 13에는 국소배기장치의 성능에 관한 규정을 제시하고 있는데, 입자상 물질을 취급할 때 외부식 상방 흡인형 후드의 경우에는 후드 개구면으로부터 가장 먼거리의 작업위치에서 풍속이 1.2 m/sec 이상 이어야 한다. 그러나 본 공장의 분말 세척 작업대에 설치된 덕트 개구면에서의 풍속은 12 m/sec 이상으로 양호한 편이었으나, 후드가 없어 작업위치(분진 발생위치)에서의 제어풍속은 0.3 m/sec으로 불량한 것으로 나타나, 적절한 후드 설치만으로도 공기 중으로 비산되는 실리카의 상당량을 포집할 수 있어 효율적인 실리카 노출저감이 기대된다. 또한 후드가 없는 것은 법규 위반에도 해당되므로 시급한 후드 설치가 요구된다. 더불어 사업주와 근로자에 대한 안전보건교육 실시, MSDS 비치, 석영과 크리스토파라이트에 대한 작업환경측정 및 관리가 시급히 되어야 한다.

## V. 결 론

여성 근로자 A씨는 22년간 스테인리스 주방용기에 광택을 내는 업체에서 미지의 분말로 용기 표면을 닦는 작업을 수행하다가 급성 규폐증이 발생하여 사망하였다. 이에 역학조사의 일환으로 작업환경평가를 실시한 결과 미지의 분말은 경북 포항 지역에서 생산된 자연상태의 규조토로 밝혀졌으며 규조토의 성분은 결정형 실리카인 석영과 크리스토파라이트가 각각 12%, 9% 함유되어 있었다. 규조토 분말로 스텐 용기를 닦는 작업에 대해 환경측정을 실시한 결과 1차 측정에서 석영과 크리스토파라이트의 합은 노출기준을 1.3배 초과하는 수준이었고, 2차 측정에서 3.9배나 초과하고 있었다. 작업대에 설치된 국소배기 장치의 덕트 개구면의 풍속은 12 m/sec 이었으나 덕트 끝단에는 후드가 없어 분말을 취급하는 작업위치에서의 제어풍속은 법적 기준치에 못 미치는 0.3 m/sec에 불과하였다. 결론적으로 규조토의 비산을 억제할 수 있도록 후드 설치 등 국소배기 시스템에 대한 점검이 시급히 요구되며 규조토의 MSDS 비치, 사업주 및 근로자 안전보건교육 실시, 작업환경측정 및 관리가 시급히 요구된다.

더불어 규조토에 노출되는 작업자에서의 석영 및 크리스토파라이트 노출실태 파악 및 주기적인 측정과 관리가 필요하다.

## 감사의 글

이 사례보고는 근로복지공단 직업환경연구원에서 수행한 업무관련성 역학조사 결과보고서에서 노출평가 부분을 중심으로 발췌한 것입니다. 노출평가에 있어 도움을 준 연구원들에게 감사의 뜻을 포함합니다.

## References

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Silica, crystalline -  $\alpha$ -quartz and cristobalite documentation: Cincinnati, Ohio; 2010
- Bayram H, Ghio AJ. Killer jeans and silicosis. *Am J Respir Crit Care Med* 2011;184(12):1322-1324 (<https://doi.org/10.1164/rccm.201108-1440ED>)
- Hutyrová B, Smolková P, Nakládálová M, Tichý T, Kolek V. Case of accelerated silicosis in a sandblaster. *Ind Health* 2015;53(2):178-183(<https://doi.org/10.2486/>

indhealth.2013-0032)

Kim HR, Kim B, Jo BS, Lee JW. Silica exposure and work-relatedness evaluation for occupational cancer in Korea. *Ann Occup Environ Med* 2018;30:4 (<https://doi.org/10.1186/s40557-018-0216-1>)

Lim HS, Lee WJ, Yun IG. Development of diatomaceous earth pneumoconiosis in the diatomite factory. *The kor J of Occup Med* 1992;4(1):61-69(<https://doi.org/10.35371/kjoem.1992.4.1.61>)

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Silicosis: Learn the facts!. Department of Health and Human Services(DHHS) NIOSH Publication No. 2004-108

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). NIOSH Manual of analytical methods. 4th

edn.: Cincinnati, Ohio; 2006

Noh JH. Occurrence and applied-mineralogical characterization of diatomite from the pohang-gampo area. *J miner soc korea* 2006;19(4):311-324

Yeon DE, Choi S. Evaluation of crystalline silica exposure level by industries in korea. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2017;27(4):398-422 (<https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2017.27.4.398>)

Yu JY. Diatomite and its application. *J miner soc korea(mineral & industry)* 2000;13(1):39-50

#### <저자정보>

김부욱(책임연구원), 김대호(연구위원), 김형렬(교수), 최병순(원장)