

타일 제조 작업자의 결정형 유리규산 노출평가 사례

차원석* · 김은영 · 김대호

근로복지공단 직업환경연구원

Exposure Assessment of Tile Manufacturing Workers to Crystalline Silica

Won-Seok Cha* · Eun-Young Kim · Dae-Ho Kim

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

ABSTRACT

Objectives: An epidemiological investigation was requested for a worker who developed COPD and IPF after long-term molding and firing at a domestic tile manufacturing site. We would like to share the results of the exposure assessment and the estimation of past work.

Methods: The content of crystalline silica in four raw materials was analyzed, and the respirable fraction of crystalline silica and dust generated in the air from molding and firing workers and other processes were measured. The measurement and analysis method referred to the NIOSH method.

Results: The crystalline silica content of the raw material was 24~47%. The concentration of crystalline silica in the molding and firing process workers and the surrounding area was at the level of the exposure standards set by the Ministry of Employment and Labor and ACGIH, and the respirable and total dust exposure levels were generally low. The crystalline silica concentration of the area samples measured to estimate past work was about twice as high as the exposure standard of the Ministry of Employment and Labor (0.05 mg/m³), and the exposure levels of respirable dust were also quite high at 0.903 and 1.332 mg/m³.

Conclusions: It was confirmed that tile molding and firing workers are currently exposed to a fairly high level of crystalline silica, and a high level is also confirmed in area samples to estimate past work. In the past, it is judged that the level of exposure would have been much higher due to differences in production volume, working method, presence/absence of local ventilation facilities, and process layout. When working in such a working environment for a long time, respiratory diseases such as lung cancer, COPD, and IPF can occur.

Key words: COPD, crystalline silica, IPF, lung cancer, tile manufacturing

I. 조사개요

국내 타일을 제조하는 사업장에서 근무하였던 작업자들에게 호흡기계 질병인 만성폐쇄성폐질환(chronic obstructive pulmonary disease, COPD)과 특발성 폐섬유증(idiopathic pulmonary fibrosis, IPF)이 발생하였다. 이 작업자들은 과거(1960~70년대)부터 30년 이상 장기간 근무하였는데, 타일의 모양을 만드는


압축 성형공정과 타일을 굽는 소성공정에서 작업하였다. 해당 사업장은 국내 대표적인 타일 제조 사업장 중 하나로, 1960년대부터 반세기 가량 외장타일(보도블록), 내장타일(벽, 바닥 타일) 등을 생산하고 있다. 시간이 지남에 따라 공장이 이전하거나 설비가 일부 변경되어왔으나, 생산하는 제품의 종류나 공정은 과거부터 유사한 방식을 채택하고 있다.

이러한 타일 제조 사업장은 산업 분류로는 요업에 해


*Corresponding author: Won-seok Cha, Tel: 032-540-4979, E-mail: aromaticwind@gmail.com

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

Received: August 11, 2023, Revised: August 20, 2023, Accepted: August 29, 2023

 Won-Seok Cha <http://orcid.org/0000-0002-6453-4891>

 Eun-Young Kim <http://orcid.org/0000-0003-4881-1470>

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

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.

당하는데, 요업은 점토나 비금속 무기재료를 원료로 열처리 공정을 거쳐 여러 제품을 만드는 제조업을 통칭한다. 역사가 깊은 산업인 만큼 도자기, 벽돌, 기와 등을 생산하는 전통 요업과 반도체, 자동차 등의 산업용 제품을 생산하는 신 요업으로 나누기도 한다. 이러한 요업 제품 제조업체에서의 주요 유해인자는 광물성 분진, 소음, 안료분진, 유약 중 납, 유기용제, 고열 등으로 알려져 있는데, 이 중 요업에서 발생하는 분진에는 결정형 유리규산이 함유되어 있어 규폐증이 발생할 위험이 높다고 보고하고 있다(Oh et al., 1994).

COPD는 외부로부터 흡입된 유해한 입자나 가스 등에 대해 폐에서 비정상적 염증 반응이 일어나 비가역적 기류 폐쇄가 발생하는 것이 특징인 질환이다. COPD의 원인 또는 위험요인으로 유전, 성(sex), 호흡기 감염, 사회경제적 수준, 영양, 아토피, 기관지과민성, 천식 등 숙주 요인과 외부 환경적/직업적 요인이 알려져 있고, 유기 및 무기 분진에 노출되면 분진이 소기도에 축적되면서 염증 반응에 의해 만성적 기도변화, 중심소엽성 폐기종, 배상세포 이형성화(goblet cell metaplasia), 섬유화(fibrosis) 등이 일어난다(Kennedy et al., 1985; Becklake, 1989; Walter et al., 2000).

IPF의 발병 기전은 정확히 밝혀지지 않았지만 직업 및 환경적 노출, 바이러스, 면역 및 유전적 요인이 위험요인으로 작용하여 폐포의 염증과 그로 인한 폐 간질의 섬유화가 발생하는 것으로 이해하고 있다. 특발성 폐섬유증의 직업적 위험요인에 대해서는 역학적으로 아직 알려진 것이 별로 없지만 금속·목재 분진, 석재·모래 분진, 결정형 유리규산 분진 및 탄 분진은 특발성 폐섬유증의 위험요인으로 알려져 있다(Raghu et al., 2011).

조사 대상 사업장은 장석 및 점토 등의 광물성 재료를 물과 배합하고 성형 및 열처리공정을 거쳐 타일을 만들어내는데, 작업 현장을 방문하였을 때 다량의 분진이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 이번 조사에서 작업자들에게 발생한 COPD와 IPF의 역학조사를 수행할 때에는 호흡성 분율의 결정형 유리규산과 분진(호흡성)의 노출 수준에 대한 평가가 중요하다. 또한 결정형 유리규산은 폐암을 일으키는 것으로 잘 알려져 있는데, 장기간 노출되는 경우 이러한 호흡기계 질병이 발생할 수 있다. 이에 타일을 제조하는 과정에서 발생하는 결정형 유리규산의 노출수준을 평가한 여러 연구를 확인할 필요가 있다.

다만 국내 요업 사업장을 대상으로 한 연구들은 모두

20~30여 년 전 수행된 과거 연구이면서, 요업 전반의 다양한 사업장에 대하여 작업환경측정을 실시한 사례로 확인된다. 요업사업장의 결정형 유리규산 기하평균 농도(N: 16)는 0.022 mg/m³, 호흡성 분진 기하평균 농도(N: 19)는 0.43 mg/m³로 확인되고, 요업사업장 중 타일 공장에서 측정된 결정형 유리규산 결과는 확인되지 않는다(Oh et al., 1994; Kim et al., 1999). 이 중 결정형 유리규산의 농도는 전체 요업 사업장의 측정결과로 타일 제조 사업장 작업자들의 노출수준으로 구분할 수 없고, 상대적으로 과거 측정된 자료이기에 사업장에서 최근까지 근무하였던 작업자들의 전반적인 노출 수준을 평가하기에는 한계점이 있다. 또한 원재료의 종류와 성분, 생산 설비의 형태 및 배치 등에 따라 그 수준은 측정시기와 사업장 별로 다를 수도 있다는 점 등을 감안하면 추가적인 작업환경측정을 실시하여 결정형 유리규산의 노출 수준을 확인할 필요가 있다.

이에 이번 조사를 통해 국내 타일 제조 사업장에서 실시한 작업환경측정 사례를 소개하고, 역학조사를 수행하며 과거의 작업을 평가하기 위해 고민하였던 내용을 공유하고자 한다.

II. 조사방법

1. 타일 제조공정

1) 현재 작업방식

타일의 제조공정은 원재료 투입 → 분쇄 → 교반 → 건조 → 성형 → 소성 → 검사 순으로 이루어져 있다. 적하기(payload loader)를 이용하여 원재료인 장석, 점토를 건물 외부 원재료 호퍼(raw material hopper)에 투입하면 벨트 컨베이어를 분쇄기(mill)로 이송하여 볼밀로 곱게 갈아준 뒤 교반기(agitator)에서 물과 배합하고, 분무식 건조기(spray dryer)에서 열풍을 이용하여 원재료를 상부로 강하게 분사하며 건조된 분말 형태로 만든다(Figure 1). 이 반제품은 사일로(silo)에 저장한 후 성형기 상부 호퍼로 이송한 뒤 금형으로 자동 투입된 분말을 압축 성형(press molding)하여 제품의 형태로 찍어낸다. 마지막으로 제품의 응결성을 높이기 위하여 소성로(firing)에서 고온(1,200℃)으로 구워준 뒤 결함을 검사하고 포장 후 적재 및 출하한다(Figure 2).

사용하는 원재료는 장석 3종(승주장석, 운모장석, 원동장석)과 점토 1종(중국점토)로 4종류의 제품을 혼합하여 사용하지만, 제품의 배합비와 성분은 영업 비밀



a. Belt conveyer



b. Agitator & mill



c. Spray dryer



d. Raw material(dried)

Figure 1. Tile manufacturing process



a. Press molding machine



b. Firing machine

Figure 2. Press molding & Firing process

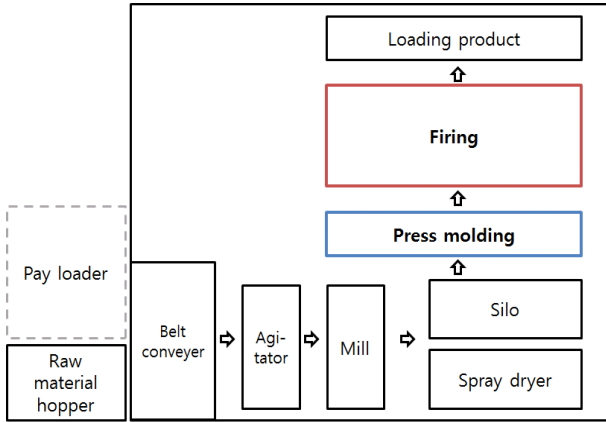


Figure 3. Current process layout

이므로 확인할 수가 없었다. 공정 내 교반기, 분쇄기, 건조기는 모두 밀폐되어 있으며, 현재 제조공정은 하나의 층에 넓게 배치되어 있다(Figure 3). 대부분의 설비는 밀폐되어 있으며, 투입구와 이송용 벨트 컨베이어에는 대부분 국소배기장치가 설치되어 있었다. 작업자는 건조기 1명, 성형기 7명, 소성로 6명, 검사장 1~2명으로 구성되며, 주간·야간 12시간 맞교대로 근무한다. 타일 제조 공정은 대부분 설비에서 자동으로 이루어지기에, 작업자들은 설비를 가동하면서 이상 유·무를 확인 및 생산 현황을 관리하는 작업을 수행하고 있었다. 현재 제품 생산량은 하루 700~1,000 m² 정도로 확인된다.

2) 과거 작업방식

과거(1960~70년대 이후) 생산하였던 제품은 모자이크 타일로 유약을 사용하여 제조하였다는 차이가 있고, 타일 제조공정 또한 현재와 일부 다르다. 과거 타일 제조공정은 원재료 투입 → 배합 → 1차 분쇄(볼밀) → 건조 → 2차 분쇄(맷돌) → 성형(압축) → 소성(저온) → 성형(연마) → 시유(유약) → 소성(고온) → 검사로 이루어져 있었다. 원재료(황토)를 교반기에서 물과 배합하고 볼밀에서 1차 분쇄한 뒤 건조기에서 수분을 제거한다. 이후 맷돌과 유사한 분쇄기로 2차 분쇄한 뒤 성형기에 삽입으로 퍼 넣는 방식으로 투입한다. 성형기에서 반제품을 찍어 내면 저온 소성로(70~80℃)에서 수분을 제거해 주며, 유약을 고르게 바르기 위해 반제품의 표면을 고르게 연마한다. 이후 시유(glazing)공정에서 유약을 스프레이로 분사한 뒤 롤러로 찍어 문양을 그려주며, 고온 소성로(1,100℃)에서 제품을 구워준 뒤 검사과정을 거쳐 제품으로 출하한다.

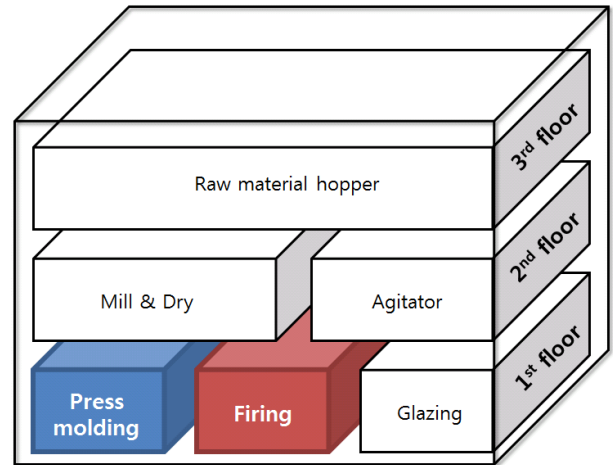


Figure 4. Past process layout

과거에는 3개의 층(1층 성형·소성·시유, 2층 분쇄·건조·배합, 3층 원재료 투입)으로 이루어져 있었으며, 3층 → 2층 → 1층으로 재료가 이송되면서 작업이 진행되었다(Figure 4). 각 층의 바닥은 철제 프레임으로 뚫려 있는 형태였으며, 각 공정의 설비들은 벨트 컨베이어로 연결되어 있었다. 주 6일간 12시간 주간·야간 12시간 맞교대로 근무하였으며, 작업인원은 정확히 기억나지 않지만 요업 호황기였기에 작업자가 상당히 많았다고 한다. 또한 과거 제품 생산량은 하루 약 10,000 m²으로 현재의 10배 정도 많았다.

2. 측정 및 분석방법

1) 벌크 시료

본 조사에서는 타일 제조 사업장에서 생산 중인 반제품을 입수하여 성분을 분석하고자 하였으나, 영업비밀을 이유로 반제품을 제공받지 못했다. 이에 원재료 4종(장석 3종, 점토 1종)을 모두 입수하여 대략적인 제품의 결정형 유리규산 함량을 확인하고자 하였으며, 분석은 X-선회절분석기(D8, Bruker corp., Germany)를 이용하였다.

2) 공기 중 시료

타일 제조공정에서 발생하는 결정형 유리규산이 작업자들에게 노출되는 수준을 확인하기 위하여 작업환경측정을 실시하였다. 측정 항목은 주 측정 인자로 호흡성 분율의 결정형 유리규산이며, 작업 중 발생하는 분진의 대략적인 수준을 파악하기 위해 호흡성 분진 및 총 분진에 대해서도 측정을 실시하였다. 측정 대상은 성형작

업자 2명, 소성작업자 2명에 대해 개인시료와 성형기 (옆), 소성로(출구)이고, 주변 공정에서 발생하는 농도를 확인하기 위해 분무식 건조기(앞), 적하기(운전실), 원재료 이송 컨베이어 벨트(하부, 높이 1.5 m), 원재료 투입구(교반기 입구), 대조균(외기)에서도 지역시료로 측정하였다.

결정형 유리규산의 측정 및 분석은 미국 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) method 7500, 호흡성 분진은 NIOSH method 0600, 총 분진은 NIOSH method 0500에 따라 실시하였다.

III. 조사결과

1. 측정 및 분석결과

1) 벌크 시료

원재료 중 장식 3종의 결정형 유리규산 함량은 각각 승주장식 42%, 운모장식 24%, 원동장식 47%이며, 중국점토는 30%로 나타났다.

2) 공기 중 결정형 유리규산 농도

성형 작업자 2명의 결정형 유리규산 농도는 2개 시료 중 1개 시료에서 0.040 mg/m³ 검출되었는데, 검출되지 않은 1개 시료는 시료채취기의 오류로 결정형 유리규산이 거의 포집되지 않았다. 성형기 옆에서 측정된 결정형 유리규산 지역시료 농도는 0.064 mg/m³ 검출되

었다. 소성 작업자 2명의 결정형 유리규산 농도는 0.021, 0.025 mg/m³로 2개 시료에서 모두 검출되었고, 소성로 출구에서 측정된 결정형 유리규산 지역시료 농도는 0.018 mg/m³ 검출되었다.

분무식 건조기 주변에서 측정된 결정형 유리규산의 지역시료 농도는 0.063 mg/m³이며, 적하기 운전실에서 0.025 mg/m³ 검출되었다. 원재료를 이송하는 벨트 컨베이어 하부(1.5 m)에서는 0.089 mg/m³이며, 원재료 투입구(교반기 입구)에서 0.111 mg/m³ 검출되었다(Table 1).

3) 공기 중 호흡성 및 총 분진 농도

성형 작업자 2명의 호흡성 분진 농도는 0.252 및 0.291 mg/m³이며, 총 분진은 2.029 및 3.000 mg/m³이었다. 성형기 옆에서 측정된 호흡성 분진의 지역시료 농도는 0.441 mg/m³, 총 분진은 5.805 mg/m³이었다. 소성 작업자 2명의 호흡성 분진 농도는 호흡성 분진 0.107 및 0.153 mg/m³이며, 총 분진은 0.217 및 0.868 mg/m³이었다. 소성로 출구에서 측정된 호흡성 분진의 지역시료 농도는 0.108 mg/m³, 총 분진은 0.233 mg/m³이었다.

분무식 건조기 주변에서 측정된 지역시료 농도는 호흡성 분진 0.417 mg/m³ 및 총 분진 1.025 mg/m³이었고, 적하기 운전실에서는 호흡성 분진 0.567 mg/m³ 및 총 분진 1.045 mg/m³이었다. 원재료를 이송하는 벨트 컨베이어 하부(1.5 m)에서 호흡성 분진 1.332 mg/m³ 및 총 분진 2.673 mg/m³이었고, 원재료 투입구(교반기 입구)에서는 호흡성 분진 0.903 mg/m³ 및 총 분진 2.501 mg/m³이었다(Table 2).

Table 1. Crystalline silica concentrations in a tile manufacturing plant (Unit : mg/m³)

Process classification	Measure point	Sample type	Sampling time(min)	Crystalline silica
Press molding	Worker	Individual	277	0.040
			36*	ND**
	Machine(near)	Area	241	0.064
Firing	Worker	Individual	273	0.021
			260	0.025
	Machine(front)	Area	247	0.018
Spray dryer	Machine(front)	Area	245	0.063
Pay loader	Cabin	Area	102	0.025
Belt conveyer	Downstair(1.5 m)	Area	103	0.089
Agitator hopper	Inlet	Area	98	0.111
Control group	Office	Area	207	ND

*Sampling pump error

**ND : Not-detected

Table 2. Respirable dust & Total dust concentrations in a tile manufacturing plant(Unit : mg/m³)

Process classification	Measure point	Sample type	Sampling time(min)	Respirable dust	Total dust
Press molding	Worker	Individual	277	0.252	2.029
			36*	0.291	3.000
	Machine(near)	Area	241	0.441	5.805
Firing	Worker	Individual	273	0.153	0.868
			260	0.107	0.217
	Machine(front)	Area	247	0.108	0.233
Spray dryer	Machine(front)	Area	245	0.417	1.025
Pay loader	Cabin	Area	102	0.567	1.045
Belt conveyer	Downstair(1.5 m)	Area	103	1.332	2.673
Agitator hopper	Inlet	Area	98	0.903	2.501
Control group	Office	Area	207	0.067	0.216

*Sampling pump error

IV. 고찰 및 결론

본 조사에서는 타일 제조공장에서 성형 및 소성 작업을 장기간 수행하였던 작업자들에게 발생한 COPD와 IPF에 대한 역학조사를 위해 작업환경측정을 실시하였다. 성형 및 소성 작업자들은 배합된 원재료를 취급하기에 반제품의 성상이나 원재료의 배합비를 확인할 필요가 있지만, 이는 영업비밀에 해당하여 확인할 수가 없었다. 다만 사용하는 원재료를 모두 입수하여 결정형 유리규산의 함량을 분석한 결과 약 36%(범위: 24~47%) 정도로 확인되는데, 결정형 유리규산이 상당히 높게 함유된 원재료들을 작게 분쇄하고 건조시키기 때문에 미립자의 형태로 비산되어 작업자들에게 노출될 수 있다.

조사결과 성형 작업자 및 성형기 주변에 설치한 지역 시료의 결정형 유리규산의 농도는 미국 산업위생전문가 협의회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH) 노출기준(TLV)인 0.025 mg/m³를 초과하였으며, 고용노동부 노출기준(0.05 mg/m³)의 80% 수준으로 상당히 높게 나타났다(MoEL, 2020; ACGIH, 2022). 이 결과는 성형기에 이송된 원재료가 급형에 투입되면서 발생하는 결정형 유리규산과 압축 성형된 타일을 소성 공정으로 이동시키는 과정에서 작업대에 쌓인 원재료가 재 비산되었기 때문일 수 있다. 다만 성형 작업자들에게 노출되는 대략적인 분진 농도는 국소배기장치 설치 등의 이유로 낮았는데, 그럼에도 원재료의 결정형 유리규산 함량 자체가 높았기에 작업자들에게 공기 중으로 노출되는 결정형

유리규산의 농도 또한 높았던 것으로 판단된다.

또한 이러한 결과는 소성 작업자들에서도 유사하게 나타난다. 제품의 형태로 압축 성형된 타일을 소성로에 넣고 가열하는 작업 방식 및 소성로에도 국소배기장치가 설치되어 있다는 점 등의 이유로 분진의 노출수준은 낮았을 수 있다. 그러나 소성로 투입구 바로 앞에서 성형 작업이 이루어지기에 성형 공정에서 발생하는 결정형 유리규산이 소성로 작업자들에게 노출될 수 있고, 성형 작업자보다는 낮지만 소성 작업자의 결정형 유리규산 농도 또한 ACGIH 노출기준과 유사한 수준으로 상당히 높았다.

다만 본 조사는 현재 작업환경에서 측정된 결과로 과거 타일 제조 작업자들의 결정형 유리규산 노출 수준에 직접 적용할 수는 없다. 일반적으로 작업환경은 과거 훨씬 열악하였을 것으로 판단되는데, 장기간 근무한 작업자들의 역학조사를 수행하는 경우 현재와 함께 과거 노출수준을 확인하는 것 또한 중요하다. 물론 공장 이전 및 설비 변경으로 인해 과거 작업환경에서 결정형 유리규산의 노출수준을 명확히 확인할 수는 없지만, 과거 작업방식과 유사한 현재 작업 중 측정된 결과를 이용하여 대략적인 과거 결정형 유리규산의 노출 수준을 추정하고자 한다.

과거 성형기에 원재료를 투입하는 작업에서의 결정형 유리규산 노출수준을 추정하기 위해 유사한 작업인 볼 밀 투입부에서 측정한 농도는 0.111 mg/m³로 고용노동부 노출기준의 2배를 초과하여 높았으며, 벨트 컨베이어에서 낙하하는 분진의 노출수준을 확인하기 위해 현

재 벨트 컨베이어 하부에서 측정된 결과 결정형 유리규산의 농도 또한 0.089 mg/m³로 높았다. 또한 과거 원재료로 사용한 황토의 결정형 유리규산 함량을 현재는 확인할 수 없었지만, 국내 황토에 결정형 유리규산의 함량이 산술평균 23%(N: 34, 범위: 3~45%) 정도라는 연구를 감안하면 본 조사의 결정형 유리규산 함량과 큰 차이가 없고, 원재료에 따른 결정형 유리규산의 노출수준은 과거에도 현재와 어느 정도는 유사하였을 것으로 판단할 수 있다(Hwang et al., 2000).

한편 이번 조사에서 측정된 사업장은 과거 작업환경이 여러 부분에서 현재보다 열악하였는데, 성형기의 압력이 현재에 비해 낮으면서 생산속도가 빨라 제품의 생산량 자체가 10배 이상 많았으며, 현재 성형기에 원료를 투입하는 방식은 사일로와 연결된 배관으로 자동 이송 및 투입되지만, 과거에는 이송된 원재료를 성형 작업자가 직접 삽으로 퍼 넣는 방식이었다. 또한 과거에는 국소배기시설이 거의 설치되지 않았던 점, 유약을 바르기 위한 연마작업을 주변에서 수행하기도 하였다는 점 등을 모두 감안하면 성형 작업자와 소성 작업자의 결정형 유리규산 노출수준은 현재 측정결과보다 훨씬 높았을 것으로 판단할 수 있다. 게다가 현재는 하나의 층에 모든 설비가 배치되어 있으나 과거에는 3개의 층에 여러 공정이 혼재되어 있었는데, 밀폐되지 않은 분쇄기(멧돌)와 곳곳에 설치된 벨트 컨베이어의 진동 등에서 발생하는 결정형 유리규산이 구멍이 뚫려 있는 철제 프레임 형식의 바닥으로 낙하되어 하부 층 작업자들에게 노출되었을 가능성도 있다.

이러한 점을 모두 감안하면 타일 제조 작업자들은 과거 고농도의 결정형 유리규산에 노출되었을 것으로 판단되며, 수십 년 이상 장기간 근무하는 경우 결정형 유리규산의 누적 노출량이 많아 IPF, 폐암과 같은 질병이 발생할 수 있고, 고농도의 호흡성 분진에 장기간 노출되는 경우 COPD 또한 발생할 수 있다.

References

American Conference of Governmental Industrial Hygienist(ACGIH). Threshold limit values for chemical

substances and physical agents and biological exposure Indices. 2022. p. 55

Becklake MR. Occupational exposures: evidence for a causal association with chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis* 1989;140(3 Pt 2):S85-91 (https://doi.org/10.1164/ajrccm/140.3_Pt_2.S85)

Hwang JY, Jang MI, Kim JS, Cho WM, Ahn BS et al. Mineralogy and Chemical Composition of the Residual Soils (Hwangto) from South Korea. *Miner. Soc. Korea* 2000;13(3):147-163

Kennedy SM, Wright JL, Muilen JB, Pare PD, Hogg JC. Pulmonary function and peripheral airway disease in patients with mineral dust or fume exposure. *Am J Respir Crit Care Med* 1985;132:1294-9

Kim HW, Phee YG, Roh YM, Won JI. Analysis of Quartz Contents by XRD and FTIR in Respirable Dust from Various Manufacturing Industries. Part 2-Ceramics, Stone, Concrete, Glass and Briquets, etc. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 1999;9(1):99-111

Ministry of Employment and Labor(MoEL). Exposure limits for chemical substances and physical Agents(MoEL Public Notice No. 2020-48).; 2020. p. 32

Oh SM, Shin YC, Park DW, Lee NR, Park SH et al. A Study on Worker's Exposure to Dust, Crystalline Free Silica and Lead in Ceramic Industry. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 1994;4(2):168-179

Raghu G, Collard HR, Egan JJ, Martinez FJ, Behr J et al. ATS/ERS/JRS/ALAT Committee on Idiopathic Pulmonary Fibrosis. An official ATS/ERS/JRS/ALAT statement: idiopathic pulmonary fibrosis: evidence-based guidelines for diagnosis and management. *Am J Respir Crit Care Med* 2011;183:788-824 (<https://doi.org/10.1164/rccm.2009-040GL>)

Walter R, Gottlieb DJ, O'Connor GT. Environmental and genetic risk factors and gene-environment interactions in the pathogenesis of chronic obstructive lung disease. *Environ Health Perspect* 2000;108(suppl 4):733-42 (<https://doi.org/10.1289/ehp.00108s4733>)

<저자정보>

차원석(책임연구원), 김은영(책임연구원), 김대호(연구위원)