

국내 일부 채석장 작업자들의 분진 및 결정형 유리규산 노출평가 사례

차원석* · 김은영 · 최성원 · 김미연

근로복지공단 직업환경연구원

Assessing Dust and Crystalline Silica Exposures among Workers in Some Quarries in Korea

Won-Seok Cha* · Eun-Young Kim · Sung-Won Choi · Mi-Yeon Kim

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

ABSTRACT

Objectives: Work environment assessments were conducted to investigate epidemiologically several cases of lung cancer and COPD (chronic obstructive pulmonary disease) among workers in domestic quarries.

Methods: We visited three quarries in South Korea where an epidemiological investigation was requested and measured total dust, respirable dust, and crystalline silica on rock drilling workers (4 people) and rock chipping workers (13 people). Measurement and analysis were conducted according to NIOSH (National Institute for Occupational Safety & Health) method 0500, NIOSH method 0600 for respirable dust, and NIOSH method 7500 for crystalline silica.

Results: Among rock drilling workers the AMs (arithmetic mean) of total dust concentrations, respirable dust concentrations, and crystalline silica concentrations were 3.462 mg/m³ (range: 0.764~6.085 mg/m³), 0.613 mg/m³ (range: 0.153~1.251 mg/m³), and 0.105 mg/m³ (range: 0.012~0.228 mg/m³), respectively. Among rock chipping workers, the AMs of total dust concentrations, respirable dust concentrations, and crystalline silica concentrations were 2.446 mg/m³ (range: 0.156~8.494 mg/m³), 0.488 mg/m³ (range: 0.028~1.536 mg/m³), and 0.099 mg/m³ (range: 0.004~0.274 mg/m³), respectively.

Conclusions: Although it cannot be said that the dust concentrations were high for both rock drilling workers and rock chipping workers, the concentrations of crystalline silica were found to be high. If such work is performed for a long period of time, diseases such as lung cancer and COPD may occur, so the work environment needs to be improved.

Key words: Quarry, Dust Exposure, Crystalline silica, Lung cancer, COPD

I. 조사개요

채석장은 건축이나 토목에 쓰이는 암석을 전문적으로 캐는 곳으로, 특정한 지형에 분포하는 돌을 캐는 개방된 형태의 석산을 말한다. 채석장에서는 일반적으로 건축용 석재, 골재, 모래, 자갈 등이 채취되는데, 채취한 원석 그대로 사용되는 경우가 있고, 시멘트 공장이나

아스팔트 공장과 함께 세워져 다른 건축자재와 혼합하여 사용되기도 한다. 채석장에서는 석재를 채취하기 위해 원석을 육면체 형태로 가능한 한 반듯하게 채석한 후 석재 가공공장으로 운반하여 용도에 따라 가공 공정을 거치고, 상대적으로 상품 가치가 떨어지는 원석은 발파 후 파쇄 등의 추가 작업을 거쳐 토목용 골재를 생산하고 있다.

*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 10, 2023, Revised: September 2, 2023, Accepted: September 25, 2023

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

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

 Sung-Won Choi <http://orcid.org/0000-0003-3469-6563>

 Mi-Yeon Kim <http://orcid.org/0000-0002-5544-1343>

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.

석산은 국내 전국적으로 비교적 고르게 분포하고 있는데, 석재 또는 골재 채석 산지로 알려진 문경, 거창, 포천, 익산 등 다양한 곳에서 채석작업이 이루어진다. 국내에서 채석되었던 석재석산을 대표 암종별로 분류하면 화강암과 섬록암인 심성암류가 87%에 달하는데, 석재자원의 80~90%는 심성암류이다. 석재 암종별 분포는 화강암 석재가 전국적으로 가장 많이 분포하며, 국내 석재의 입도 분포에서는 600여개의 석산 중 중립질 내지 조립질의 입도를 보이는 석산이 50% 이상이면서 대부분 화강암 석재이다(Lee et al., 2006). 또한 골재를 채석하는 석산의 암석 중 화강암의 비율은 25%로 가장 많고, 편암 20%, 사암 10% 등의 순으로 확인된다(Hong et al., 2004).

화강석을 채취하는 국내 채석장은 지리적 특성에 따라 화강석이 분포한 지역 주변에 위치하고 있다. 대표적으로 포천, 익산, 상주, 장흥, 문경, 거창 등에 산재해 있고, 산지에 따라 포천석, 익산석 등으로 부르기도 한다(Kim et al., 2015). 화강석은 각 지역별로 석재의 품질, 구조 등의 특징이 다양하여 강도와 색 등이 차이가 있고 가격 및 사용 용도가 조금씩 다른 특징이 있지만, 국내 화강석의 성분을 분석한 일부 연구에 따르면 폐암 발암물질인 결정형 유리규산(석영)이 26~38% 가량 함유된 것으로 확인되었다(Lee et al., 2004; Cho et al., 2011; Cho et al., 2015).

한편 근로복지공단에는 이러한 채석장에서 착암 및 할석작업을 수행한 작업자에게 발생한 폐암과 만성폐쇄성폐질환(Chronic Obstructive Pulmonary Disease, COPD)의 역학조사가 의뢰되었다. 역학조사가 의뢰된 채석장에서 채취하는 암석은 모두 화강석이었는데, 암석의 크기를 맞춰 절단하기 위해 착암(천공) 및 할석(절단) 작업을 수작업으로 반복하여 수행한다. 이러한 작업 특성을 감안하면 분진이 일부 발생할 수 있고, 채석장 작업자들은 화강석 분진에 함유된 결정형 유리규산에도 노출될 수 있다. 그러나 석재 가공공장에서 근무하는 작업자의 분진 노출에 대한 평가는 과거 수행된 바 있으나(Kim et al., 1999; Kim et al., 2014), 국내 채석장 작업자들을 대상으로 분진 및 결정형 유리규산 노출수준을 확인한 연구는 찾아보기 어려웠다.

이에 본 조사는 국내 일부 채석장 착암 및 할석 작업자의 분진과 결정형 유리규산(석영)의 노출수준을 확인하는데 목적이 있다.

II. 조사방법

1. 조사대상

역학조사가 의뢰된 총 3곳의 채석장을 모두 방문하여 작업환경측정을 실시하였다. 경기도 포천에 위치한 (주)S 석재, 전라북도 익산에 위치한 (주)H석재는 석재가공 공장 납품용 화강석을 채석하고, 전라남도 장흥에 위치한 SS 석재는 토목 골재용 화강석을 채석한다. 채석은 일반적으로 석산(암석) → 착암(천공) → 발파 → 할석(절단) → 원석 채취(채석) → 운반 등의 순서로 이루어진다. 채석장에 따라 작업환경이나 생산량은 다를 수 있지만 채석 작업의 방식은 유사하다. 작업은 하루 8시간(08:00~17:00) 동안 수행하지만, 작업이 많을 때에는 하루 11시간(07:00~18:00) 이상 채석 작업을 수행한다.

2. 채석 작업

석재가공 공장 납품용 화강석은 석산(암석)에 착암하여 여러 개의 구멍을 뚫은 뒤 와이어소(wire saw)에 공업용 다이아몬드가 결합된 쇠줄로 자동 절단하고, 동시에 구멍에 도폭선(암석의 결에 따라 쪼개기 위해 폭약을 금속관, 섬유, 합성수지로 피복한 선)을 넣고 발파하여 직육면체(약 11 x 8 x 7 m) 형태의 원석을 채취한다. 이 원석은 사용 용도에 따라 제품을 추가로 쪼개는 할석(절단) 작업을 거쳐 다양한 크기의 제품으로 만들어 낸다. 토목 골재용 화강석은 착암 및 발파를 수차례 실시하여 암석을 작게 쪼개는 형태로 작업한다. 이후 굴삭기와 적하기(payload loader) 등의 중장비를 이용하여 덤프트럭에 적재 후 출하한다.

1) 착암

착암 작업은 석산의 암석에 구멍을 뚫는 작업(천공)으로 기계식 착암기(천공기)를 이용하여 암석의 윗면에서부터 바닥면까지 수직 및 앞면에서부터 뒷면까지 수평으로 천공한다. 수직 및 수평 착암의 깊이는 모두 약 7~8 m 정도이며, 구멍 한 개 천공하는데 10분 정도 소요되고, 한 면에 약 20 cm간격으로 35개 정도의 구멍을 뚫는다. 착암공은 착암기에 드릴을 장착한 후 설비를 가동하는데, 직접 천공하지는 않지만 천공 지점 인근에서 작업 상황을 지켜보거나 다음 작업을 준비하는 형태로 작업하기에 주변에서 발생하는 분진에 노출될 수 있다. 수직 착암기는 천공 지점에 채석장용 국소배기장치가 설치된 경우가 있었으나 모든 수직 착암기에



a. Vertical rock drilling



b. Vertical rock drilling worker



c. Horizontal rock drilling



d. Horizontal rock drilling worker

Figure 1. Rock drilling process and workers

설치되어 있지는 않다. 반면 수평 착암기는 국소배기장치기 설치되어 있지 않으며, 수평 착암은 채석장 하부에서 작업하기에 병풍처럼 막힌 암석에 의해 기류의 흐름이 원활하지 않았다(Figure 1).

수직 및 수평 천공이 이루어진 구멍들 안에 도폭선을 삽입한 뒤 일제히 발파하여 육면체 형태의 화강석을 분리해낸다. 발파는 작업자들이 멀리 떨어진 것을 확인 한 뒤 실시하는데, 발파 순간에는 큰 소음과 다량의 분진이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 착암은 일반적으로 석재 공장 납품용 대형 암석이 해당하고, 골재 생산용 암석은 추가로 천공 및 발파하여 소형 암석으로 쪼개준다.

2) 할석

할석 작업은 발파로 절단된 화강석을 덤프트럭 및 트레일러로 운반 가능한 크기로 다시 절단하는 것으로 2차 착암 작업으로도 볼 수 있다. 발파로 분리된 화강석은 굴삭기를 이용하여 바닥에 놓힌 뒤, 할석공이 화강석 위에 올라가 치수를 재고(마킹 작업) 착암할 위치를

표시한 후 공압식 수동 착암기(핸드 브레이커)를 이용하여 약 10 cm 깊이로 천공한다. 착암된 부분에 석재 파쇄기(정)를 끼우고 수동 공기 압축기로 눌러 주거나, 대형 망치 또는 굴삭기로 타격하여 암석을 쪼갬다. 할석 작업은 4인 1조로 수행하며, 발파된 화강석 1개 당 할석 작업시간은 총 40분 정도 소요되는데, 이중 수동 착암기 사용시간은 20분 정도이다. 할석 작업자는 하루에 4개의 화강석들을 처리하기 때문에 실제 작업시간은 하루에 1시간 30분 정도 되며, 그 외의 시간은 주변 자재를 정리하거나 마킹 등의 작업을 수행한다(Figure 2).

3. 측정 및 분석방법

측정대상 사업장은 석재 가공용 화강석을 채석하는 사업장 2곳(경기 포천 소재 (주)S석재, 전북 익산 소재 (주)H석재)과 화강석 골재를 생산하는 사업장 1곳(전남 장흥 소재 SS석재)으로, 총 3개의 화강석 채석장을 대상으로 하였다. 측정은 모두 개인시료로 채취하였는데, (주)S석재(A사업장)에서는 수직(2명) 및 수평(2명) 착암공 및



a. Rock chipping



b. Rock chipping workers

Figure 2. Rock chipping process and workers

할석공(3명)이 해당하고, (☹)H석재(B사업장)는 할석공(7명) 및 SS석재(C사업장)는 할석공(3명)을 대상으로 실시하였다. 측정은 모두 2017년 3월~5월에 실시하였다.

총 분진은 미국국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety & Health, NIOSH) 분석방법 0500(NIOSH, 1994), 호흡성 분진은 NIOSH 분석방법 0600(NIOSH, 1998), 결정형 유리규산은 NIOSH 분석방법 7500에 준하여 실시하였다(NIOSH, 2003). 분진 및 결정형 유리규산의 측정은 필터에 분진의 과 포집을 피하기 위해 오전, 오후로 나누어 시료를 교체하였으며, 측정 당일 채석 작업이 8시간 이상 이루어졌기에 계산된 농도를 8시간 시간가중평균노출기준(Time Weighted Average)으로 같음하여 평가하였다.

III. 조사결과

1. 분진 측정결과

착암 작업자(착암공) 4명의 총 분진 농도는 산술평균(arithmetic mean, AM) 3.462 mg/m³, 표준편차

(standard deviation, SD) 2.356 mg/m³이며, 범위는 0.764~6.085 mg/m³이었다. 호흡성 분진 농도는 AM 0.613 mg/m³, SD 0.460 mg/m³이며, 범위는 0.153~1.251 mg/m³이었다.

세부 작업으로 볼 때 수직 착암공 2명의 총 분진 농도는 0.764, 1.494 mg/m³이고, 호흡성 분진 농도는 0.198, 0.153 mg/m³이었다. 수평 착암공 2명의 총 분진 농도는 5.504, 6.085 mg/m³이었고, 호흡성 분진 농도는 0.849, 1.251 mg/m³로 나타났다. 수직 착암 작업에 비해 수평 착암 작업에서 총 분진 및 호흡성 분진의 농도가 5배 이상 높은 것으로 확인된다.

할석 작업자(할석공) 13명의 총 분진 농도는 AM 2.446 mg/m³, SD 2.653 mg/m³이며, 범위는 0.156~8.494 mg/m³이었다. 호흡성 분진 농도는 AM 0.488 mg/m³, SD 0.511 mg/m³이며, 범위는 0.028~1.536 mg/m³이었다(Table 1).

2. 결정형 유리규산 측정결과

결정형 유리규산은 착암공 4명을 대상으로 한 모든

Table 1. Total and respirable dust concentrations by process classification

(Unit : mg/m³)

Process classification	N*	Total dust			Respirable dust			
		Mean±SD**	Min	Max	Mean±SD	Min	Max	
Drilling	Vertical	2	1.129±0.365	0.764	1.494	0.175±0.023	0.153	0.198
	Horizontal	2	5.794±0.291	5.504	6.085	1.05±0.201	0.849	1.251
	Subtotal	4	3.461±2.356	0.764	6.085	0.612±0.460	0.153	1.251
Chipping	13	2.446±2.653	0.156	8.494	0.488±0.511	0.028	1.536	
Control	2	0.088±0.061	0.028	0.149	0.017±0.012	0.006	0.029	

*N : Number of samples

**Mean±S.D. : Arithmetic mean±Standard Deviation

Table 2. Crystalline silica concentrations by process classification(Unit : mg/m³)

Process classification	N*	Detection rate (%)	Crystalline silica			
			Mean±SD**	Min	Max	
Drilling	Vertical	2	100	0.015±0.003	0.012	0.018
	Horizontal	2	100	0.194±0.034	0.161	0.228
	Subtotal	4	100	0.104±0.093	0.012	0.228
Chipping	13	77		0.099±0.090	0.004	0.274
Control	2	0			ND [†]	

*N : Number of samples

**Mean±S.D. : Arithmetic mean±Standard Deviation

†ND : Not-detected

시료에서 검출(100%)되었다. 착암공의 결정형 유리규산 농도는 AM 0.105 mg/m³, SD 0.093 mg/m³이며, 범위는 0.012~0.228 mg/m³으로 나타났다. 착암공의 결정형 유리규산 산술평균 농도는 고용노동부 노출기준(0.05 mg/m³)을 2배 정도 초과하였는데, 이 중 수직 착암공에 비해 수평 착암공의 결정형 유리규산 농도는 10배 이상 높았다. 특히 수평 착암공의 결정형 유리규산 농도는 고용노동부 노출기준을 3~4배 이상 초과하는 것으로 확인된다.

할석공의 결정형 유리규산은 13명 중 10명의 시료에서 검출(77%)되었다. 할석공의 결정형 유리규산 농도는 AM 0.099 mg/m³, SD 0.090 mg/m³이며, 범위는 0.004~0.274 mg/m³으로 나타났다. 할석공의 결정형 유리규산 산술평균 농도 또한 고용노동부 노출기준을 2배 정도 초과하였다(Table 2).

IV. 고찰 및 결론

채석장 작업은 암석을 석산에서 채취하고 사용 용도에 맞게 가공한다는 점에서 암석 분진이 발생할 수 있다. 특히 착암 및 할석 작업은 작업자가 직접 수공구를 사용한다는 점에서 분진에 상시 노출될 수 있지만, 이러한 작업자들을 대상으로 한 연구결과는 현재 찾아보기 어려운 실정이다. 이에 이번 조사에서 화강석 채석장의 착암공 및 할석공을 대상으로 작업환경측정을 실시한 결과 분진 노출수준은 높다고 할 수 없지만, 결정형 유리규산에는 높은 농도로 노출됨을 확인하였다.

할석 작업자의 경우 채석된 암석을 절단하기 위해 소형 착암기로 암석에 구멍을 뚫기 때문에 분진에 직접 노출될 수 있다. 이번 조사에서 확인된 할석 작업자의 호흡성 분진 농도는 산술평균(AM) 0.488 mg/m³ 수준이며, 결정형 유리

규산의 농도는 AM이 0.099 mg/m³로 나타났다. 할석공의 결정형 유리규산 노출 수준은 우리나라 고용노동부 노출기준의 2배 정도이며, 미국 정부산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienist, ACGIH)의 노출기준인 0.025 mg/m³의 4배에 달한다(MoEL, 2020; ACGIH, 2022).

또한 착암 작업에서도 할석 작업자와 유사한 농도의 분진(호흡성 분진)과 고농도의 결정형 유리규산이 발생하는 것을 확인할 수 있었는데, 특히 착암 작업자 중에서도 수평 천공 작업을 수행할 때에는 수직 천공 작업보다 훨씬 높은 수준의 결정형 유리규산이 발생하고 있었다. 물론 착암 작업자에 대한 측정은 1개 사업장에서만 이루어졌기에 여러 채석장 작업자의 노출 수준을 대변하지는 못하나, 수평 천공작업에서는 수직 천공작업에 비해 분진의 노출수준은 5배 이상 높으며, 결정형 유리규산의 농도 또한 10배 이상 높게 나타났다. 이 결과는 수직 천공작업이 상대적으로 채석장 상부 넓은 공간에서 이루어지기에 기류의 흐름이 원활하고, 일부 천공기에는 국소배기장치가 설치되어있기 때문일 수 있다.

결정형 유리규산의 농도는 석산(채석장)의 암석 종류에 따라 달라질 수 있고, 화강석 또한 생산지에 따라 결정형 유리규산의 함량이 조금씩 다르다. 이번 조사대상 사업장 중 포천석을 채석하는 사업장에서의 측정결과는 결정형 유리규산의 농도가 상당히 높았는데, 과거 결정형 유리규산 중 석영(quartz)이 포천석에는 27.4%, 문경석에는 30.1%, 일동석에는 26.5% 함유된 것으로 보고된 바 있고(Lee et al., 2004), 거창석의 석영 함유량은 26%, 포천석의 석영 함유량은 38%로 보고한 문헌도 있었다(Cho et al., 2011). 이러한 과거 연구들을 감안하면 화강석 내 석영의 함유량이 대략적으로 유사

Supplement table 1. Total dust, respirable dust, and crystalline silica concentrations

(Unit : mg/m³)

Site	Process	Work	Sample type	Sampling time (min)	Total dust	Respirable dust	Crystalline silica	
A	Drilling	Vertical	Individual	476	0.764	0.198	0.012	
				475	1.494	0.153	0.018	
		Horizontal	461	5.504	0.849	0.161		
			461	6.085	1.251	0.228		
	Chipping	Chipping	339	5.661	1.536	0.274		
			430	5.817	1.282	0.228		
	Control	Lodging	Area	426	8.494	0.575	0.105	
				524	0.028	0.029	ND*	
	B	Chipping	Chipping	Individual	428	0.165	0.045	ND
					422	1.351	0.222	0.026
428					0.156	0.094	0.004	
426					0.17	0.034	ND	
418					0.44	0.073	0.008	
419					0.178	0.028	ND	
Control		Office	Area	411	0.309	0.081	0.005	
				93	0.149	0.006	ND	
C	Chipping	Chipping	Individual	209	4.067	1.075	0.142	
				347	2.349	0.445	0.077	
				343	2.642	0.861	0.123	

*ND : Not-detected

하다고 볼 수 있고, 작업량 및 작업 위치(주변 작업) 등의 작업 조건이 분진 및 결정형 유리규산의 노출 수준에 영향을 줄 수 있다.

이번 조사결과에 따르면 유사한 작업형태를 보였음에도 A와 B 사업장 할석 작업자의 분진 노출수준은 큰 차이가 있었는데, 측정 당일 B 사업장의 작업량이 평소보다 다소 적었다. 또한 A와 C 사업장 할석 작업자의 분진 노출수준 또한 어느 정도는 차이가 있는데, 석재가공 공장에 납품하는 화강석은 골재 생산용 화강석보다 크기 및 작업 규모가 크고, 여러 명의 작업자가 동시에 할석 작업을 수행하기 때문에 판단된다(Supplement table 1).

역학조사에서 확인한 바에 따르면 화강석과 같은 암석은 건축자재 중에서도 단가가 높기에 채석장 작업자들의 숙련도가 많이 요구되는데, 대략 수~수십 년 이상의 근무 경력을 가지고 있다. 이렇게 오랜 기간 동일한 작업을 수행하는 경우 분진과 결정형 유리규산과 같은 유해인자의 누적 노출량이 많아지게 되고, 이러한 작업

환경에서 장기간 근무하는 경우 폐암 또는 COPD와 같은 호흡기 질병이 발생할 수 있다. 이에 최근 뿐 아니라 과거의 작업환경에서 분진의 노출수준 또한 매우 중요하다. 다만 국내 석재 가공공장의 호흡성 분진 및 결정형 유리규산에 대한 연구는 수행된 바 있으나, 채석장 작업자를 대상으로 한 연구는 확인되지 않는다.

한편 일반적으로 작업환경은 시간이 지남에 따라 개선되고 있는데, 이는 이번 조사에서도 마찬가지이다. 이번 역학조사를 신청한 근로자들은 과거 주변에서 제트버너(jet burner)를 이용한 절단작업을 수행하였기에 상당히 많은 분진에 노출됨을 주장하였고, 이는 사업장 관계자의 진술과도 일치한다. 다만 조사에서 방문한 3개 사업장 모두 제트버너 작업은 현재 수행하지 않아 작업환경측정을 실시할 수 없었고, 문헌에서도 제트버너 작업의 분진 노출 농도에 관한 자료는 찾아보기 어려운 실정이다. 그러나 과거 버너 노즐에서 발생하는 고온, 고속의 화염으로 인하여 다량의 분진이 발생하였다는 사업장 관계자의 진술과, 와이어소는 화강암을 자

동으로 습식 절단하기에 분진이 거의 발생하지 않을 것으로 판단되는 점을 감안하면, 과거 착암 또는 할석 작업을 수행한 근로자들은 이번 조사결과보다 더 높은 수준의 분진에 노출되었을 수 있다.

이번 조사를 통해 화강석 채석장의 착암공과 할석공은 높은 농도의 결정형 유리규산에 노출되고 있음을 확인하였다. 채석장은 중장비 운용과 발파작업 등에 의해 사고 위험이 높기에 작업자들을 대상으로 한 안전 관리가 중요한 것은 잘 알려져 있다. 그러나 작업자들이 이러한 유해인자에 노출되는 경우 발생할 수 있는 호흡기 질병을 예방하기 위해, 국소배기장치가 설치된 천공기와 와이어소를 도입하는 등의 설비 개선이 필요하며, 착암공 및 할석공의 분진과 결정형 유리규산의 노출을 저감시키기 위하여 적극적인 관리가 요구된다.

본 조사의 제한점으로 조사대상 채석장이 3곳으로 적고, 여러 번 측정된 결과가 아니므로 전체 채석장 착암공 및 할석공의 노출 수준을 대표하기에는 무리가 있다. 추가 연구를 통해 국내 채석장별 암석의 성분 및 결정형 유리규산의 함량을 확인하고, 채석장 작업자들의 작업량 및 작업형태 등에 따른 노출수준을 반복 측정하여 명확히 정리할 필요가 있다. 또한 향후 굴삭기 및 덤프트럭과 같은 중장비 운전 작업자들의 분진 및 디젤엔진 연소물질 등의 노출수준에 대한 측정도 실시할 필요가 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
- Cho HS, Kim JS, Kim KK, Kang MH, Shon YK et al. . Determination of Rock Cleavages Using AMS (Anisotropy of Magnetic Susceptibility): a Case Study on the Geochang Granite Stone, Korea. Jour Petrol Soc Korea 2015;24(3):209-231 (<http://dx.doi.org/10.7854/JPSK.2015.24.3.209>)
- Cho SH, Kim WW, Shin IJ, Park JC. A Study on Characteristics of the Spectrum of Building Materials : Based on Granite. Journal of the Korean Solar Energy Society 2011;31(4):150~155
- Hong SS, Lee CB, Park DW, Yang DY, Kim JY et al. Geology and Distribution of Crushed Aggregate Resources in Korea. Econ Environ Geol 2004;37(5): 555-568
- Kim HW, Phee YG, Roh YM, Won JI. Analysis of Quartz Contents by XRD and FTIR in Respirable Dust from Various Manufacturing Industries. Korean Ind. Hyg. Assoc. J 1999;9(1):99-111
- Kim KK, Jwa YJ, Hong SS, Lee KW. A Comparative Study on the Whole Rock Magnetic Susceptibility and SHRIMP Zircon U-Pb Geochronology of the Domestic Dimension Stone and Chinese similar Dimension Stone. Jour. Petrol. Soc. Korea 2015;24(3):273-289 (<http://dx.doi.org/10.7854/JPSK.2015.24.3.273>)
- Kim SH, Bae HJ, Jung JH, Phee YG. Particle Size-Related Dust and Quartz Concentration of Stone Grinding Operations. Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene 2014; 24(4):462-470 (<http://dx.doi.org/10.15269/JKSOEH.2014.24.4.462>)
- Lee CO, Hong SS, Lee BT, Kim KS, Yoon HS. Spatial distribution of the dimension stone quarries in Korea. Jour. Petrol. Soc. Korea 2006;15(3):36-48
- Lee CS, Kang CW, Jung SO. A Study on the Physical Characteristics of Building Stone Resources. J. of Korean Society of Explosives & Blasting Engineering 2004;22(1):81-91
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Exposure limits for chemical substances and physical Agents(MoEL Public Notice No. 2020-48).; 2020. p. 32
- National Institute of Occupational Safety & Health (NIOSH). NIOSH manual of analytical methods, Particulates not otherwise regulated, TOTAL: METHOD 0500, Issue 2, dated 15 August 1994;(3)
- National Institute of Occupational Safety & Health (NIOSH). NIOSH manual of analytical methods, Particulates not otherwise regulated, RESPIRABLE: METHOD 0600, Issue 3, dated 15 January 1998;(3)
- National Institute of Occupational Safety & Health (NIOSH). NIOSH manual of analytical methods, silica, crystalline by IR: Method 7602, Issue 3, dated 15 March 2003;(3)

<저자정보>

차원석(책임연구원), 김은영(책임연구원), 최성원(전임연구원), 김미연(연구위원)