

## 광물성분진 노출사업장의 공기 중 석영의 농도 비교

정경선<sup>1</sup> · 배혜정<sup>1</sup> · 남미란<sup>1</sup> · 정종현<sup>2</sup> · 피영규<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>대구한의대학교 산업보건연구소, <sup>2</sup>대구한의대학교 보건학부

### Comparisons of Airborne Quartz Concentrations in Mineral Dust Exposure Industries

Gyeong Seon Jeong<sup>1</sup> · Hye Jeong Bae<sup>1</sup> · Mi Ran Nam<sup>1</sup> · Jong-Hyoen Jung<sup>2</sup> · Young Gyu Phee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Institute for Industrial Health, Daegu Haany University

<sup>2</sup>Faculty of Health Science, Daegu Haany University

#### ABSTRACT

**Objectives:** This study was conducted to estimate quartz concentrations and contents in the airborne respirable dust from various industries.

**Methods:** A total of 818 samples were collected from 174 industries. Respirable dust samples were collected using a cyclone equipped with a 37 mm, 5 μm pore size PVC filter. The quartz concentrations were identified using the intensity of the absorption peak of quartz at 799 cm<sup>-1</sup> by Fourier Transformed Infrared Spectroscopy (FTIR).

**Results:** The respective geometric means for quartz concentrations in the respirable dust were 0.0050, 0.0049, 0.0025, and 0.0019 mg/m<sup>3</sup> in foundries, ceramics, construction, and cement/stone. The geometric mean of quartz contents analyzed by FTIR were respectively 3.43, 1.99, 1.04, and 0.82% for ceramics, foundries, cement/stone, and construction. The rate of exceeding the Korean Occupational Exposure Limit (0.05 mg/m<sup>3</sup>) was 2.03%, but rate of exceeding the American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) Threshold Limit Value (0.025 mg/m<sup>3</sup>) was 7.12%.

**Conclusions:** Given that foundries had a higher quartz concentration, there is a need to reduce respirable dust, such as through wet operation. In order to protect the health of workers exposed to mineral dust, it is necessary to actively consider strengthening the Korean Occupational Exposure Limit.

**Key words:** concentration, quartz, respirable dust

#### I. 서 론

다양한 광물에 포함되어 있는 석영은 지구표면의 12% 이상을 차지하며, 광물에 약 17% 정도 존재하고 있어 광물을 취급하는 사업장은 분진의 형태로 노출될 수 있다(Madson et al., 1995). 이렇듯 석영은 건설업과 광업은 물론 주물, 금속가공업, 석재가공, 요업, 유리제조 등의 제조업에서도 노출될 가능성이

크다(Smith, 1992; Balaan & Banks, 1992; Kelly, 1995). 한국산업안전보건공단은 국내에서 석영은 200여개의 사업장에서 5만 여명의 근로자가 노출되고 있으며, 연간 300만 톤 이상을 사용하는 것으로 보고하였다(KOSHA, 2007).

규폐증(silicosis)은 석영 등의 결정형 규산이 원인이 되며 특히 작업자가 호흡성 크기에 노출되었을 때 발생된다(Weber & Banks, 1994). 또한, 석영은 그 자체로

\*Corresponding author: Young Gyu Phee, Tel: 053-819-1590, Fax: 053-819-1208, E-mail: yphee@dhu.ac.kr  
Faculty of Health Science, Daegu Haany University. 1 Hannydae-ro, Gyeongsan-si, Gyeongbuk 38610  
Received: August 29, 2017, Revised: September 9, 2017, Accepted: September 20, 2017

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.

규폐증을 발생시킬 뿐만 아니라, 활석, 석탄분진, 구조토와 같이 혼합되면 그 분진의 독성이 더욱 증가 되고 (KOSHA, 2013), 만성폐쇄성 폐질환 및 악성종양, 자가면역 질환 등도 유발한다(MoEL, 2005). 이에 국제암연구기구(International Agency for Research on Cancer, IARC)에서는 석영 등을 포함한 결정형 규산 동형이성체를 인체 발암물질(Group 1)로 분류하고 있으며 (IARC, 1997), 미국정부산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienist, ACGIH)는 인체 발암예상물질인 A2로 구분하고 있다 (ACGIH, 2015). 우리나라도 현재 석영을 사람에게 충분한 발암성 증거가 있는 물질인 발암성 1A로 분류하고 있다(MoEL, 2016a).

우리나라에서 2015년 발생한 직업병자 총 1,959명 중 1,125명(57.5%)이 진폐증으로 보고되어 직업병 중 가장 높은 비율을 차지하고 있으며, 2014년 발생한 진폐증 직업병 1,019명에 비해서도 증가되었다(MoEL, 2016b). 또한, 2015년 직업병으로 인한 사망자 현황을 보면 총 514명 중 427명이 진폐증으로 사망하여 전체의 83.1%로 대부분을 차지하고 있다. 이에 산업안전보건법에서는 진폐증을 예방하기 위하여 광물성분진이 노출되는 작업장에 대해 정기적으로 작업환경측정을 실시하고 그 결과에 따라 관리하도록 규정하고 있다 (MoEL, 2016c). 또한, 작업환경측정 결과에 대한 평가 기준으로 석영에 대한 노출기준은 호흡성분진으로서 0.05 mg/m<sup>3</sup>로 제시하고 있지만(MoEL, 2016a), ACGIH TLV(Threshold Limit Value)는 0.025 mg/m<sup>3</sup>로 더욱 엄격하게 관리하고 있다(ACGIH, 2016).

우리나라에서 석영에 대한 연구는 초기에 주로 광업이 대상이 되어 탄광 내 석영을 정량 분석하는 연구가 대부분이었으며(Choi et al., 1987; Kim et al., 1991; Song & Lee, 1994), 그 이후 요업 사업장(Oh et al., 1994; Kim et al., 1999), 주물 사업장(Phee et al., 1997; Kim et al., 1998; Park et al., 2003), 석재 사업장(Kim et al., 1999; Kim et al., 2013), 콘크리트 사업장(Bae et al., 2013) 등 제조업을 중심으로 노출평가에 대한 연구가 수행되었다. 또한, 건설업(Lee, 2012)과 토공사(Sung et al., 2015)를 대상으로 석영에 대한 노출평가 연구도 수행한 바 있다. 그러나 이 모든 연구는 특정 업종에 한정되어 연구가 수행되거나 지역, 시료, 공정수 등이 제한적이었다.

따라서 본 연구는 광물성분진에 노출되는 업종 및 공정별 석영의 노출수준과 함유량을 파악하여 근로자들의 진폐증 예방을 위한 기초자료로 활용되고자 하였다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 연구 대상

광물성분진 노출사업장의 공기 중 석영농도 및 함유량에 대한 노출수준을 확인하기 위하여 2014년 1월부터 2016년 9월까지 174개 사업장을 대상으로 총 818개의 시료를 확보하였다. 광물성분진 중 석영이 노출되는 다양한 업종 중 건설업, 주물업, 시멘트 및 석재가공업, 요업을 대상으로 하였다.

### 2. 연구 방법

#### 1) 공기 중 호흡성분진의 채취

광물성분진에 대한 작업환경측정은 여과채취방법에 따라 호흡성분진으로 시료를 채취하고, 석영, 크리스토포라이트, 트리디마이트를 분석할 수 있는 방법으로 수행하도록 하고 있다(MoEL, 2016d). 미국국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety & Health, NIOSH) 0600 공정시험법은 PVC 여과지를 2단 카세트에 담아 사이클론에 장착하여 사용한다 (NIOSH, 1998).

#### 2) 호흡성분진 중 석영의 분석

석영의 분석은 NIOSH의 7602 방법을 가급적 준용하였다(NIOSH, 2003). 미국표준과학연구소(National Institute of Standard & Technology, NIST)의 표준물질(Standard Reference Material, SRM) 1878a(Respirable quartz, NIST, USA)와 KBr(160-8010, PIKE, USA)를 혼합하여 펠렛(pellet)화 하였고 7개 농도수준으로 검량선을 작성하였다. PVC필터는 도가니에 넣어 뚜껑을 덮은 후 회화로에서 650℃로 2시간 동안 필터 내 유기물을 회화시킨 후, KBr 200 mg을 막자사발을 사용하여 시료와 혼합하였다. 혼합된 시료를 13 mm die를 사용하여 펠렛을 만들어 FTIR(Cary 640, Agilent, USA)로 1500 cm<sup>-1</sup>~400 cm<sup>-1</sup>까지 주사하였고, 799 cm<sup>-1</sup>에서 석영의 흡광도를 측정하였다.

3. 자료의 분석

조사한 자료들의 통계분석은 SPSS(Version 20.0K, USA) 프로그램을 사용하였다. 공기 중 석영 농도는 대수정규분포를 보여 기하평균과 기하표준편차로 제시하였고, 참고적으로 산술평균과 표준편차도 수록하였다. 석영농도에 대한 업종, 공정별 비교는 Kruskal-Wallis test를 이용하였다.

III. 연구결과

1. 업종별 호흡성분진 중 석영의 농도

업종별 호흡성분진 중 석영의 기하평균 농도는 주물업이 0.0050 mg/m<sup>3</sup>으로 가장 높았고, 요업(0.0049 mg/m<sup>3</sup>), 건설업(0.0025 mg/m<sup>3</sup>), 시멘트 및 석재가공업(0.0019 mg/m<sup>3</sup>) 순이었으며, 그 차이는 통계적으로 유의하였다. 우리나라 석영의 노출기준(0.05 mg/m<sup>3</sup>) 초과율은 평균 2.0%로 나타났으며, 시멘트 및 석재가공업이 3.8%로 가장 높았다. ACGIH의 TLV(0.025 mg/m<sup>3</sup>) 초과율은 평균 7.1%이었고, 주물업이 11.4%로 역시 가장 높았다(Table 1).

2. 업종에 따른 공정별 호흡성분진 중 석영의 농도

건설업의 공정별 호흡성분진 중 석영의 기하평균 농도는 코팅공정이 0.0029 mg/m<sup>3</sup>으로 가장 높았고, 기타공정 0.0025 mg/m<sup>3</sup>, 후처리공정 0.0020 mg/m<sup>3</sup>, 주입공정 0.0007 mg/m<sup>3</sup>이었으며, 우리나라 석영의 노출기준 초과율은 기타공정이 3.3%로 가장 높은 수준이었고, ACGIH의 TLV 초과율은 후처리공정이 40.0%로 가장 높게 나타났다(Table 2). 주물업의 공정별 석영의 기하평균 농도는 코팅공정이 0.0118 mg/m<sup>3</sup>으로 가장 높은 수준이었고, 우리나라 노출기준 초과율이 가장 높은

공정은 후처리공정(6.1%)이었고, ACGIH의 TLV 초과율은 코팅공정에서 50.0%를 보였다. 시멘트 및 석재가공업의 석영의 기하평균 농도는 주입공정이 0.0120 mg/m<sup>3</sup>으로 가장 높았고, 그 다음으로 기타공정, 혼합공정, 성형공정, 후처리공정 순으로 나타났다. 공정별 우리나라 석영의 노출기준과 ACGIH의 TLV 초과율은 주입공정이 25.0%이었다. 요업에서 석영의 기하평균 농도는 코팅공정이 0.0114 mg/m<sup>3</sup>으로 가장 높았고, 혼합공정(0.0061 mg/m<sup>3</sup>), 기타공정(0.0052 mg/m<sup>3</sup>), 주입공정(0.0045 mg/m<sup>3</sup>), 성형공정(0.0034 mg/m<sup>3</sup>) 순이었지만, 통계적 유의성은 없었다. 요업의 경우 우리나라 석영의 노출기준을 초과하지 않았지만, ACGIH의 TLV 공정별 초과율은 성형공정(50.0%)이 가장 높은 수준이었다.

3. 업종별 호흡성분진 중 석영의 함유량

업종별 석영함유량은 요업이 3.43%로 가장 높게 나타났으며, 주물업(1.99%), 시멘트 및 석재가공업(1.04%), 건설업(0.82%) 순이었고, 그 차이는 통계적으로 유의하였다(Table 3).

4. 업종에 따른 공정별 호흡성분진 중 석영의 함유량

건설업의 공정별 석영함유량 기하평균은 코팅공정이 2.22%로 가장 높았고, 기타공정 0.94%, 후처리공정 0.29% 순으로 다소 차이가 있었으나 통계적 유의성은 없었다(Table 4). 주물업은 코팅공정(9.39%)이 유의하게 가장 높았으며, 기타공정(5.72%), 후처리공정(2.48%), 주입공정(1.97%), 주조공정(1.83%)순으로 나타났다. 시멘트 및 석재가공업의 공정별 호흡성분진 중 석영의 기하평균 함유량은 성형공정이 3.53%로 가장 높았으며, 그 다음으로는 혼합공정

Table 1. Airborne Quartz concentrations in respirable dust by industrial classification (Unit : mg/m<sup>3</sup>)

Industry	N*	GM† (GSD‡)	Mean±S.D.§	Min	Max	ER1 <sup>  </sup>	ER2 <sup>¶</sup>	P-value
Construction	102	0.0025(3.5574)	0.0068±0.0166	0.0001	0.1106	2.94	6.86	
Metal casting	586	0.0050(4.1844)	0.0120±0.0193	0.00003	0.1752	2.90	11.43	0.01
Cement·Stone processing	79	0.0019(4.9924)	0.0117±0.0393	0.0010	0.2318	3.80	6.33	
Ceramic manufacturing	51	0.0049(3.8566)	0.0094±0.0091	0.0030	0.0342	0.00	7.84	

\* N : Number of samples

† GM : Geometric Mean

‡ GSD : Geometric Standard Deviation

§S.D. : Standard Deviation

<sup>||</sup>Exceed Rate1(%) : (Number of samples over KOEL / Number of samples) × 100

<sup>¶</sup>Exceed Rate2(%) : (Number of samples over ACGIH TLV / Number of samples) × 100

**Table 2.** Quartz concentrations in respirable dust of industries by process

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

Industry	N*	GM*(GSD**)	Mean±S.D.†	Min	Max	ER1 <sup>§</sup>	ER2 <sup>‡</sup>	P-value
<b>Construction</b>								
Input	1	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.00	0.00	
Coating	4	0.0029(1.6529)	0.0032±0.0016	0.0019	0.0050	0.00	0.00	0.466
Finishing	5	0.0020(11.8280)	0.0122±0.0162	0.0003	0.0312	0.00	40.00	
Others	92	0.0025(3.3889)	0.0067±0.0171	0.0001	0.1106	3.26	5.43	
<b>Metal casting</b>								
Input	76	0.0042(4.8199)	0.0089±0.0093	0.0001	0.0613	1.31	1.31	
Molding	221	0.0050(4.0117)	0.0119±0.0200	0.0001	0.1752	2.71	11.76	
Casting	17	0.0051(2.8139)	0.0080±0.0072	0.0008	0.0239	0.00	0.00	
Coremaking	75	0.0029(4.2755)	0.0085±0.0203	0.00003	0.1630	1.33	6.67	0.001
Mixing	8	0.0021(4.7465)	0.0086±0.0126	0.0003	0.0321	0.00	12.50	
Coating	2	0.0118(6.6306)	0.0240±0.0296	0.0031	0.0450	0.00	50.00	
Forming	13	0.0037(2.4235)	0.0050±0.0037	0.0006	0.0120	0.00	0.00	
Finishing	147	0.0076(3.3918)	0.0167±0.0234	0.0002	0.1432	6.12	19.73	
Others	27	0.0060(3.3225)	0.0112±0.0122	0.0006	0.0475	0.00	14.81	
<b>Cement-Stone processing</b>								
Input	4	0.0120(19.2209)	0.0619±0.0867	0.0002	0.1885	25.00	25.00	
Mixing	8	0.0016(8.1911)	0.0245±0.0663	0.0002	0.1885	12.5	0.00	0.494
Forming	5	0.0013(1.8854)	0.0015±0.0009	0.0006	0.0027	0.00	0.00	
Finishing	4	0.0011(3.1557)	0.0015±0.0010	0.0002	0.0025	0.00	0.00	
Others	58	0.0018(4.3378)	0.0081±0.0308	0.0001	0.2318	1.72	3.45	
<b>Ceramic manufacturing</b>								
Input	51	0.0049(3.8566)	0.0094±0.0091	0.0030	0.0342	0.00	7.84	
Mixing	2	0.0045(13.9528)	0.0149±0.0201	0.0007	0.0291	0.00	50.00	0.675
Coating	16	0.0061(2.6884)	0.0085±0.0052	0.0007	0.0166	0.00	0.00	
Forming	2	0.0114(1.0062)	0.0115±0.0001	0.0114	0.0115	0.00	0.00	
Others	17	0.0034(4.5986)	0.0089±0.0116	0.0004	0.0341	0.00	11.76	

**Table 3.** Weight percent of quartz in respirable dust by industrial classification

(Unit : %)

Industry	N*	GM*(GSD**)	Mean±S.D.†	Min	Max	P-value
Construction industry	14	0.8247(2.9875)	1.4436±1.5599	0.21	4.92	
Cast of Metal	254	1.9945(3.3382)	3.4539±3.6156	0.01	21.44	p<0.001
Cement-Stone processing	56	1.0408(3.7904)	2.1668±2.8594	0.06	17.07	
Ceramic industry	27	3.4268(3.2615)	5.7241±5.5467	0.28	26.14	

Table 4. Weight percent of quartz in respirable dust of industries by process

(Unit : %)

Industry	N*	GM*(GSD**)	Mean±S.D.*	Min	Max	P-value
Construction						
Coating	2	2.2177(2.5006)	2.700±2.1779	1.16	4.24	0.077
Finishing	3	0.2866(1.2128)	0.2900±0.0529	0.23	0.33	
Others	9	0.9415(2.9206)	1.5489±1.6284	0.21	4.92	
Metal casting						
Input	47	1.9725(3.4807)	3.3519±2.9855	0.10	14.10	0.005
Molding	77	1.7750(2.7741)	2.7960±3.1752	0.08	19.47	
Casting	4	1.8328(1.7673)	2.0550±1.0878	0.88	3.50	
Coremaking	30	1.6462(4.1928)	2.9527±2.7462	0.01	10.32	
Mixing	6	0.5002(4.3954)	1.2900±2.1338	0.10	5.61	
Coating	1	9.3900	9.3900	9.39	9.39	
Forming	3	0.9514(2.6429)	1.2300±0.8771	0.32	2.07	
Finishing	79	2.4795(3.2699)	4.2166±4.2319	0.10	21.44	
Others	7	5.7192(2.4541)	7.6757±5.6199	1.45	16.98	
Cement Stone processing						
Mixing	6	1.3805(5.4246)	2.6933±2.3904	0.06	6.87	0.060
Forming	5	3.5332(2.0323)	4.3760±4.039	1.67	10.01	
Others	45	0.8750(3.5951)	1.8511±2.7970	0.09	17.07	
Ceramic manufacturing						
Mixing	5	3.1951(2.9817)	4.8160±4.1203	0.90	9.37	0.792
Forming	17	3.7843(3.4292)	6.4476±6.3927	0.28	26.14	
Others	5	2.6230(3.6534)	4.1720±3.6419	0.31	10.12	

(1.38%), 기타공정(0.88%)으로 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 요업의 공정별 석영함유량은 성형공정에서 3.78%, 혼합공정 3.20%, 기타공정 2.62%로 나타났다.

#### IV. 고 찰

결정형 규산은 약 20년의 잠복기를 가지며 규폐증을 유발하고 고농도에 노출될 경우 2년 이내에 급성 규폐증의 발생도 가능하다. 규폐증은 석영의 입자 중 석영의 호흡성 크기에 노출되었을 때 발생되며 이에 따른 노출량과도 관계가 깊다(Weber & Banks, 1994). 화학물질 유통·사용 실태조사 결과 결정형 규산을 사용하는 사업장은 총 221개소이며, 총 근로자는 47,725명, 취급근로자 1,905명, 사용·취급량은 1년간 2,960,469톤으로 보고하였다(KOSHA, 2007). 이에 우리나라도 산화규소 화합물의 위해성으로부터 근로

자 건강보호를 위하여 2008년부터 석영에 대한 노출 기준을 0.1 mg/m<sup>3</sup>에서 0.05 mg/m<sup>3</sup>으로 강화하였고, 결정형은 석영, 크리스토프라이트, 트리디마이트, 트리플리 4가지로 분류하여 호흡성분진으로 표기하였다(MoEL, 2016a).

본 연구에서 가장 많은 업종은 주물업으로 공기 중 석영의 기하평균 농도는 0.005 mg/m<sup>3</sup>로 나타나 Park et al.(2003)의 0.03 mg/m<sup>3</sup>, Phee et al.(1997)의 0.015 mg/m<sup>3</sup>~0.046 mg/m<sup>3</sup>과 Kim et al.(1998)의 0.01 mg/m<sup>3</sup>~0.03 mg/m<sup>3</sup>에 비해 낮게 평가되었으나, 석영의 함유량의 경우 Park et al.(2003)은 2.25%로 Phee et al.(1997)은 4.60%~6.37%, Kim et al.(1998) 4.39%~4.41%로 보고하여 본 연구결과 3.45%와 큰 차이를 보이지는 않았다. 건설업의 경우 비교하는데 다소 무리는 있지만 Sung et al.(2015)의 경우 토공사의 노출 평가 결과 석영농도를 0.0075 mg/m<sup>3</sup>로 보고하여 건설업 중 토공사에서 분진과 석영의 노출이 많은 것으

로 추측할 수 있다.

Higgins et al.(1995)는 요업사업장의 호흡성분진 중 석영의 함유량을 2.9%~37.3%, Saiyed et al.(1995)는 4.2%~27.7%로 보고하여 본 연구의 석영함유량 2.6%~3.8%보다 다소 높은 수준이었는데 이는 요업과 도자기업에 사용되는 점토 등의 원재료와 차이에 기인된 것으로 추정된다.

시멘트 및 석재사업장의 경우 공기 중 석영의 기하평균 농도는 0.0019 mg/m<sup>3</sup>(0.001 mg/m<sup>3</sup>~0.23 mg/m<sup>3</sup>)으로 나타났다. 이는 콘크리트 사업장을 대상으로 한 Bae et al.(2013)의 석영의 기하평균 농도인 0.002 mg/m<sup>3</sup>~0.004 mg/m<sup>3</sup>와는 유사한 수준이었으나, Kim et al.(1999)의 기하평균 농도 0.017 mg/m<sup>3</sup>~0.024 mg/m<sup>3</sup>, Kim et al.(2014)의 기하평균 농도 0.048 mg/m<sup>3</sup>~0.170 mg/m<sup>3</sup>에 비해서는 낮은 수준이었다. 또한, Koskela et al.(1987)이 수행한 석재공장의 석영농도는 0.3 mg/m<sup>3</sup>~0.42 mg/m<sup>3</sup>에 비해서는 다소 낮은 수준이었으나, Meijer et al.(2001)이 조사한 콘크리트 사업장에서의 공기 중 석영농도 0.06 mg/m<sup>3</sup>에 비해서는 높은 수준이었다. 시멘트 및 석재사업장의 공기 중 석영함유량의 경우 Kim et al.(2002)은 10.27%~25.12%로 보고하였고, Kim et al.(1999)은 7.54%~7.97%, Bae et al.(2013)은 2.62%~4.67%, Kim et al.(2014)은 4.49%~6.49%, Guenel et al.(1989)의 석재사업장 석영함유량은 3%~35%로 발표하였는데 대부분 본 연구의 석영함유량인 0.88%~3.53%에 비해서는 다소 높은 수준이었다.

본 연구의 제한점으로는 연구목적으로 시료를 채취한 것이 아니고 산업안전보건법에 의한 작업환경 측정결과를 활용함에 따라 농도가 다소 과소평가된 점과 자료를 분류 할 때 업종에 대한 세분류 과정에서 정확한 분류가 어려웠다는 한계점이 있었다.

## V. 결 론

본 연구는 2014년 2월부터 2016년 9월까지 우리나라에 소재한 광물성분진 노출사업장 174개소를 대상으로 업종별, 공정별 공기 중 석영농도 및 석영함유량을 파악하였다. 그 결과 호흡성분진 중 석영의 농도는 주물업이 다른 업종에 비해 가장 높았고, 공정별로는 건설업, 주물업 및 요업은 코팅공정, 시멘트

및 석재가공업 주입공정에서 높은 수준을 보였다. 석영의 우리나라 노출기준 초과율은 2.03%이었고, ACGIH TLV 초과율은 7.12%로 나타났으며, 업종별 초과율은 주물업이 11.4%로 가장 높았다. 업종별 석영의 함유량은 요업이 가장 높았고, 공정별로 구분해 보면 건설업, 주물업은 코팅공정, 요업, 시멘트 및 석재가공업은 성형공정에서 높은 수준을 보였다.

우리나라 광물성분진 노출사업장의 공기 중 호석영의 농도 및 노출기준 초과율을 확인한 결과 주물업의 농도가 가장 높게 나타나 다른 업종에 비해 우선적 관리가 필요한 것으로 판단된다. 석영에 대한 노출평가 결과 우리나라 노출기준 초과율은 2.03%이었으나, ACGIH TLV 초과율은 7.12%로 나타나 광물성분진에 노출되는 근로자의 건강보호를 위하여 노출기준 강화를 적극적으로 고려할 필요가 있다.

## References

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2015 threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. ACGIH.; 2015. p. 32
- Bae HJ, Jung JJ, Phee YG. Analysis of Quartz Concentrations by FTIR-DOF and FTIR-Transfer method in concrete manufacturing industries. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2013;23(2):75-83
- Balaan MR, Banks DE. Silicosis, In : Rom WN, Environmental and occupational medicine 2nd Ed, New York; USA.; 1995. p. 254
- Choi HC, Chun YH, Yoon YN, Kim HJ. Quartz concentration and respirable dust of coal mines in Taeback and Kangneung areas. J Prev Med 1987;20(2):261-269
- Guenel P, Breum NO, Lynge E, Exposure to silica dust in the Danish stone industry. Scan J Work Environ Health., 15, 147-153, 1989
- Lee YL. Assessment of crystalline silica exposures of stone works in the construction industry. Graduate school of public health. Seoul; The Catholic University of Korea Press. 2012. p. 11-12
- Higgins RI, Deere MR, Cinkotai FF. Fettlers' exposure to pottery dust in a factory making sanitary whiteware. Ann Occup Hyg, 29(3), 365-375, 1985.
- International Agency for Research on Cancer. IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risks to humans: silica, some silicates, coal dust and para-aramid fibrils. Vol 68. Lyon, France: World Health

- Organization, IARC.; 1997. p. 49, 51
- Kelly RJ. Particulates. In: Plog BA, Ed, Fundamentals of industrial hygiene, 5th Ed, Illinois; National Safety Council.; 1995. p. 169-174
- Kim HJ, Choi HC, Chung HK. Determination of metals of coal and respirable dust in Gangneung and Taebaek coal mines. Korean Ind Hyg Assoc J 1991;1(1):82-88
- Kim HW, Phee YG, Roh YM, Won JI. Analysis of quartz contents by XRD and FTIR in respirable dust from various manufacturing industries Part 1-Foundry. J Korean Soc Occup Environ Hyg 1998;8(1):50-66
- Kim HJ, Phee YG, Roh YM, Kim HW. Study on the field application of FTIR-direct on filter method for the analysis of quartz in respirable samples. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2002;12(2):73-78
- 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
- Kim SH, Bae HJ, Jung JJ, Phee YG. Particle size-related dust and quartz concentration of stone grinding operations. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2014;24(4):462-470
- Koskela RS, Mutanen P, Sorsa JA, Klockars M. Mortality and disability among granite workers. Scand J Work Environ Health 1987;13:18 - 25
- Korea Occupational Safety & Health Agency(KOSHA). A survey of the distribution and use of chemical substances - Report on crystalline silica, 2007. p. 2-4
- Korea Occupational Safety & Health Agency(KOSHA). Management of health effect by hazard factor, 2013. p. 23-27
- Madson FA, Rose MC, Cee R. Review of quartz analytical methodologies: present and future needs Appl Occup Environ Hyg, 10(12), 991-1001, 1995.
- Meijer E, Kromhout H, Heederik D. Respiratory effects of exposure to low levels of concrete dust containing crystalline silica. Am J Ind Med 2001;40(2):133-140
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Silicates. In : 2005 Guide for industrial health of hazardous materials. Ministry of Employment and Labor.; 2005. p. 135
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Silicates. In : 2005 Guide for industrial health of hazardous materials. Ministry of Employment and Labor.; 2005. p. 135
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Exposure limits for chemical substances and physical agents(MoEL Public Notice No. 2016-8).; 2016a. p. 27
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). 2015 Industrial accident. Ministry of Employment and Labor.; 2016b. p. 35
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Industrial Safety and Health Act. Ministry of Employment and Labor.; 2016c. p. 58
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Working environmental monitoring and evaluation of working environmental monitoring agency(MoEL Public Notice No. 2016-38).; 2016d. p. 28
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Particulates not otherwise regulated, respirable Method 0600. NIOSH manual of analytical method, 4ed. DHHS/NIOSH pub 94-113. 1994-Revised by David L. Bartley NIOSH/DPSE/ARDB, Ray Feldman, OSHA. 2003.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Silica, Crystalline by IR: Method 7602, In manual of analytical methods, 4<sup>th</sup> ed, NIOSH, 2003. p. 1-5
- Oh SM, Shin YC, Park DW, Lee NR, Park SH, Yi GY, Moon YH. 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
- Phee YG, Roh YM, Lee KM, Kim HY, Kim YW et al. Analysis of quartz content and particle size distribution of airborne dust from selected foundry operations. J Korean Soc Occup Environ Hyg 1997;7(2):196-208
- Park YS, Roh YM, Kim HW, Han JG, Ahn YS, Kang SK, Kim JM. A study of respirable dust concentrations and quartz contents in foundry. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2003;13(1):90-97
- Saiyed HN, Ghodasara NB, Sathware NG, Patel GC, Parikh, Kashyap SK Dustiness, silicosis & tuberculosis in small scale pottery worker. Indian J Med Res, 102, 138-142, 1995
- Smith DK. Evaluation of the detectability and quantification of respirable crystalline silica by X-ray powder diffraction methods. Department of geoscience and material research laboratory. The Pennsylvania State University Press.; 1992. p. 1-5
- Song SW, Lee KM. Exposure concentrations of respirable coal dust and silica contents by work processes in coal mines. J Korean Soc Occup Environ Hyg 1994;33(4): 153-161
- Sung EC, Bae HJ, Jung JH, Phee YG. Exposure Assessment of Airborne Quartz from EarthWork Sites. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2015;25(4):584-590
- Weber SL, Banks DE. Silicosis. In : Rosenstock, Cullen MR editors. Textbook of clinical occupational and environmental medicine. by W.B. Saunders Company, 1994. p. 254