

# 사문석 채석장과 제철소 내 사문석 취급 근로자의 공기 중 석면 노출 평가 Occupational Exposure to Airborne Asbestos Fibers in Serpentine Quarries and a Steel Mill

권지운\* · 서희경 · 김갑배 · 정은교

Jiwoon Kwon\* · Hoe-Kyeong Seo · Kab Bae Kim · Eun Kyo Chung

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

Occupational Safety and Health Research Institute, Korea Occupational Safety & Health Agency

## ABSTRACT

**Objectives:** Asbestos contents of crushed serpentine rocks and airborne fiber concentrations of workers were determined at two serpentine quarries and a steel mill.

**Methods:** Bulk samples of uncrushed and crushed serpentine rocks were collected and analyzed by PLM and TEM. Airborne asbestos samples were collected from the breathing zone of workers and the vicinity of working area and analyzed by PCM and TEM.

**Results:** Chrysotile was identified with antigorite, lizardite and non-asbestiform actinolite in bulk samples. The arithmetic means of chrysotile contents in crushed serpentines were 0.11, 0.01, 0.42%(W/W) by quarry A, quarry B and a steel mill, respectively. The asbestos concentrations of all personal samples were less than 0.1 f/cc which is the permissible exposure limit of workers in Korea. The arithmetic means of airborne asbestos concentrations were 0.017 f/cc and 0.009 f/cc in personal samples collected from two serpentine quarries. The asbestos concentrations of all personal samples collected from a steel mill were less than LODs by PCM analysis but asbestos was detected in area samples by TEM. By the job tasks of serpentine quarries, crusher/separator operation generated the highest exposure to airborne asbestos.

**Conclusions:** Although chrysotile contents in crushed serpentines of quarries were less the permissible level, the highest exposure of workers in serpentine quarries reached up to 76% of the permissible level of airborne asbestos. There were also possibilities of occupational exposure to airborne asbestos in a steel mill. The present exposure study should encourage further survey and occupational control of quarries producing serpentine or other types of asbestos-bearing rocks.

**Key words :** asbestos, airborne fiber concentration, occupational exposure, serpentine quarry, steel mill

## I. 서 론

사문석은 마그네슘 규산염 수화물 광물( $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ )로서 세 종류의 동질이상체인 리자다이트, 안티고라이트, 백석면으로 자연에 존재한다(Deer et al., 1992). 암석명으로서 사문석이란 고운 입자상태의 리자다이트와 안티고라이트가 혼합된 암석 덩어리를 지칭하며, 주로 제철 부원료와 용성인비의 원료, 장식석재와 같은 건축자재로 활용된다(Klein, 2002). 반면에 백석면은 국내에서 사용이 금지된 석면의 한 종류로서, 취급하는 근로자의 작업 중 노출과 주변 환경으로의 노출이 국내 관련법에 따라 엄격히 규제되고 있다(MOEL, 2011;

MOE, 2012).

사문석 암석은 다양한 활용도에도 불구하고 백석면이 함유될 수 있다. 석면에 오염된 사문석에 대한 최초의 보고는 1977년에 미국 매릴랜드주의 한 채석장에서 채석되어 도로 포장용으로 사용된 파쇄된 사문석에서의 석면 검출과 이에 따른 석면의 공기 중 비산에 대한 보고이며(Rohl et al., 1977), 이후 일본과 이탈리아에서 두 편의 관련 연구가 보고되었다(Sakai et al., 2001; Cattaneo et al., 2012). 연구 결과에 따르면 사문석 암석에서 리자다이트, 안티고라이트와 함께 백석면이 검출되었으며, 일부 지역에서는 트레모라이트 또는 악티노라이트가 함께 검출되었다. 공기 중에서는 사문석 채석

\*Corresponding author: Jiwoon Kwon, 인천시 부평구 구산동 무네미로 478, Tel: 032-510-0805,  
Fax: 032-518-0864, E-mail: gloria@kosha.net, Received: 2013. 2. 21., Revised: 2013. 3. 26., Accepted: 2013. 3. 27.

장과 파쇄된 사문석이 사용된 도로 주변 및 사문석 취급 근로자에서 채취한 시료에서 석면이 검출되었으며, 특히 사문석 채석 및 가공 사업장 근로자 중 사문석 암석을 절단가공하거나 천공작업을 수행하는 근로자에서 가장 높은 수준의 석면 노출이 보고되었다.

국내에서는 1996년에 충남 홍성의 사문석을 채취하여 파쇄하는 사업장에서 17년간 근무한 근로자의 악성 중피종 발병이 확인되었으며, 역학조사 결과 취급한 사문석에 백석면이 함유되었음이 확인되었으나 공기 중 석면에 대한 노출 수준은 확인된 바 없다(Choi, 1997; Kim & Koh, 2007). 특히 최근에는 석면이 함유된 사문석이 제철소의 제철 부원료와 도로나 운동장의 포장재로 사용되어 관련 근로자의 석면 노출과 주변 환경으로의 석면 비산 가능성에 대한 사회적 우려가 제기되었다(ACCEH, 2011a; ACCEH, 2011b; ACCEH, 2011c). 이에 따라 사문석 암석에서의 석면분진 비산을 관리하기 위해 환경부는 2012년부터 사문석을 석면함유가능물질 중 하나로 지정하여, 주기적인 시료채취와 분석을 통해 용도에 따라 설정된 석면함유가능물질의 석면함유 허용기준을 준수하도록 하고, 작업장 주변 환경의 공기 중 석면 농도 평가를 의무화하였다(MOE, 2011).

최근 사문석에 함유된 석면을 관리하기 위한 국내 관련 제도가 강화되고 채석장 등 관련된 근로자의 석면노출과 이에 대한 관리의 필요성이 국내외에서 제기되었지만, 현재까지 국내에서 사문석에 함유된 석면에 대한 정량적 평가 결과와 이를 취급하는 근로자의 공기 중 석면에 대한 노출 수준은 보고된 바 없다. 따라서 본 연구는 국내 안동지역 사문석 채석장에서 생산되는 사문석 암석 중의 석면함유 실태를 파악하고, 사문석 채석장과 제철소에서 사문석을 취급하는 근로자의 공기 중 석면에 대한 노출 수준을 평가하여 그 결과를 제시하였다.

## II. 연구대상 및 방법

### 1. 연구대상

본 연구는 국내에서 2011년 4월 현재 사문석을 채석하고 있는 것으로 파악된 채석장 2개소와 사문석을 제철 부원료로 사용하는 제철소 1개소의 석면 노출 가능성이 있는 근로자와 작업지역을 대상으로 하였다.

사문석 채석장과 제철소의 각 작업공정은 대형장비와 시설을 사용하여 제한된 인원이 작업하는 것으로 파

악되었다. 사문석 채석장은 노천 채석장에서 굴삭기를 이용하여 사문석 암석 덩어리를 채굴한 후, 채굴된 암석을 덤프트럭을 이용하여 수백 미터 거리에 위치한 분쇄/선별기로 옮겼다. 분쇄/선별기에서는 암석 덩어리를 분쇄하고 체질하여 수~수십 밀리미터 크기의 파쇄물로 크기에 따라 선별하여 야적하였다. 야적된 사문석 파쇄물은 헬로더를 이용하여 덤프트럭에 상차된 후 외부 사용처로 운반되어졌다. 채석장 2개소 모두 각 공정별로 1대의 장비와 1 명의 근로자가 배치되었다.

제철소에서는 덤프트럭에 운반되어 온 사문석 파쇄물을 호퍼에 투입한 후, 만일폐식의 컨베이어를 통해 부원료 저장고로 이송하여 적치하였다. 적치된 사문석 파쇄물은 필요에 따라 리크레이머와 컨베이어를 이용하여 소결공정으로 이송되어 다른 부원료와 혼합된 후 소결로에서 고형화되어 고로로 투입되었다. 호퍼와 리크레이머에 각 1 명의 근로자가 작업하였으며, 수 명의 근로자가 청소작업과 부원료의 이송 중 바닥에 떨어진 원료를 회수하는 작업을 수행하였다. 사문석 취급 작업은 여러 가지 부원료 중 사문석이 입고되거나 사문석을 이송할 때에 한하여 간헐적으로 이루어졌다.

### 2. 시료채취 및 분석

#### 1) 시료채취

암석 중 석면 맥의 존재 여부를 확인하기 위하여 사문석 채석장의 암석 덩어리를 채굴하는 장소에서 백석면의 맥이 있는 것으로 의심되는 암석 덩어리 시료를 채취하였다. 또한 채석장의 선별기 주변과 제철소의 부원료 저장고에서 적치되어있는 사문석 파쇄물 시료를 채취하였다.

공기 중 시료는 사문석 채석장과 제철소의 석면 노출 가능성이 있는 근로자에 대하여 근로자의 호흡기 영역에서 개인시료를 채취하였다. 제철소의 일부 개인시료는 높은 공기 중 분진 농도 때문에 채취 공기량이 100 L 이하로 제한되었으므로, 공기 중 석면 비산을 확인하기 위하여 지역시료를 추가로 채취하였다. 지역시료는 제철소의 각 공정별 사문석이 위치한 방출원으로부터 3 m 이내 영역에서 지면으로부터 약 1.5 m 높이에서 채취하였다. 시료채취는 개인시료채취기(ESCORT ELF Pump; MSA, USA)와 MCE 여과지와 카울이 장착된 전도성 재질의 시료채취매체를 이용하여 약 1~2 L/min의 유량으로 개인시료는 68~250 L, 지역시료는 197~685 L의 공기를 채취하였다. 모든 시료채취기는 시료채취 전과 후에 국가 표준검교정기구로부터 교정 받은 유량보정

기(Gilibrator 2; Sensidyne, Inc., USA)를 이용하여 유량을 보정하여 사용하였다.

## 2) 시료분석

사문석 파쇄물과 암석 덩어리 고형물 시료는 미국 환경국(Environmental Protection Agency, EPA)의 EPA 600-R-93-116 분석법에 따라 편광현미경(LV100POL; Nikon, Japan)을 이용하여 정성분석을 실시하였다(EPA, 1993). 이 중 사문석 파쇄물은 투과전자현미경(JEM-2100; Jeol, Japan)을 이용하여 정성분석을 재실시하고 석면의 함유율을 정량분석 하였다. 정량분석은 시료를 찻볼 5 mm의 체로 체질하여 여과된 입자를 막자와 막자사발을 이용하여 분쇄하고, 일정량을 취하여 시료 분말의 현탁액을 만든 후, 미국재료시험협회(American Society for Testing Materials, ASTM)의 침착분진 중 석면의 중량비를 분석법인 D 5756-02에 따라 일정량을 분취하여 여과지로 여과한 후, 투과전자현미경을 이용하여 석면 섬유 및 섬유다발의 길이와 지름을 측정하여 검출된 석면의 부피를 구하고 밀도를 곱하여 전체 시료 중의 석면 함유율을 계산하였다(ASTM, 2003).

공기 중 시료는 고용노동부의 고시에 따라 위상차현미경을 이용하여 길이 5  $\mu\text{m}$  이상이며 길이 대 지름의 비가 3:1 이상인 섬유를 계수하여 공기 중 섬유 농도를 구하였다(MOEL, 2011). 위상차현미경을 이용한 분석에서 섬유가 검출한계 이상 검출된 시료는 투과전자현미경을 이용하여 미국 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)의 NMAM 7402 측정분석법에 따라 길이 5  $\mu\text{m}$  이상, 지름 0.25  $\mu\text{m}$  이상이며 길이 대 지름의 비 3:1 이상인 섬유 중 석면과 비석면을 구분하여 검출된 섬유

중 석면의 비율을 구하였다(NIOSH, 1994). 시료의 석면 농도는 위상차현미경을 이용하여 분석된 섬유농도에 투과전자현미경을 이용하여 분석된 검출된 섬유 중 석면의 비율을 곱하여 산출하였다.

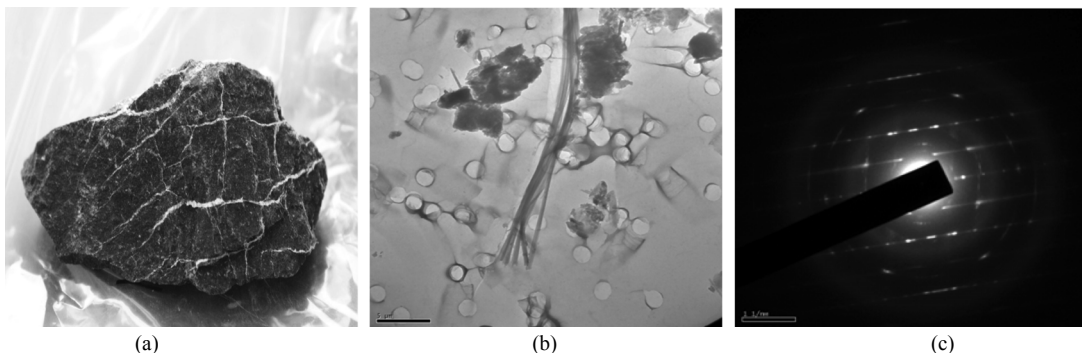
## 3. 자료의 처리

고형시료 중 석면 함유율의 분석 결과는 산술평균, 산술표준편차, 최대값 및 최소값으로 제시하였다. 공기 중에서 채취한 시료 중 위상차현미경을 이용한 분석 결과가 검출한계 미만인 시료는 검출한계의 이분의 일을 계산하여 통계분석에 활용하였다. 투과전자현미경을 이용한 분석 결과의 통계분석은 시료 중 석면이 검출된 자료만을 활용하였다. Shapiro-Wilk 검정을 이용하여 자료의 정규성 검정을 실시한 결과, 모든 자료가 정규분포를 만족하지는 않았다. 따라서 공기 중 석면 시료의 기술통계 자료는 산술평균, 산술표준편차, 중앙값, 최대값 및 최소값을 제시하였으며, 자료의 수가 적고 모든 자료가 정규분포를 만족하지 않음을 고려하여 비모수적인 검정법인 Kruskal-Wallis 검정을 실시하여 집단 간에 통계적인 차이가 있는지 확인하였다. 통계분석은 version 18.0 SPSS 통계프로그램(SPSS Inc., USA)을 이용하였다.

## III. 연구결과

### 1. 고형시료 중 석면 함유율

사문석 채석장에서 채취한 암석 덩어리에서 약 1~2 mm의 가는 백석면의 세맥이 검출되었다(Figure 1). 사문석 파쇄물을 분석한 결과 분석한 모든 시료에서 백석면이 리자다이트, 안티고라이트와 함께 검출되었다. 악티노



**Figure 1.** Chrysotile fibers in a serpentine rock found at a serpentine quarry. (a) small chrysotile vein in a serpentine rock (generally less than 1~2 mm wide) (b) bright-field image and (c) diffraction pattern of chrysotile under transmission electron microscopy analysis.

**Table 1.** Analytical results of asbestos in serpentine bulk samples by transmission electron microscopy.

Work site	N*	AM <sup>†</sup> %(W/W)	SD <sup>‡</sup> % (W/W)	Range % (W/W)	Asbestos type
Quarry A	3	0.11	0.08	0.04-0.2	Chrysotile
Quarry B	3	0.01	0.01	0.003-0.01	Chrysotile
Steel mill	5	0.42	0.35	0.09-1.01	Chrysotile

\*N: number of samples, <sup>†</sup>AM: arithmetic mean, <sup>‡</sup>SD: standard deviation

라이트도 모든 사문석 파쇄물 시료에서 백석면과 함께 검출되었으나, 입자의 형태가 알려진 석면형태의 악티노라이트에 비해 지름이 두껍고 길이 대 지름의 비가 작은 분포를 보였으므로 석면이 아닌 것으로 판정하였다. 검출된 백석면 함유율의 산술평균은 채석장 A 0.11%, 채석장 B 0.01%, 제철소 0.42% 이었다(**Table 1**).

## 2. 공기 중 석면 농도

위상차현미경을 이용하여 공기 중 섬유농도를 분석한 결과, 전체 31 개 시료 중 19 개(61%) 시료에서 섬유가 검출한계 이상 검출되었다(**Table 2**). 작업장별로는

산술평균으로 채석장 B의 개인시료가 0.040 개/cm<sup>3</sup>로 가장 높고 채석장 A의 개인시료가 0.036 개/cm<sup>3</sup>이었으며, 제철소의 개인시료는 모두 검출한계 미만이었다. 제철소의 지역시료의 공기 중 섬유농도는 산술평균으로 0.008 개/cm<sup>3</sup>로 채석장의 개인시료 보다 유의하게 낮았다( $P_{\text{Kruskal-Wallis}}=0.001$ ). 투과전자현미경을 이용한 분석 결과, 위상차현미경으로 검출한계 이상 섬유가 검출된 시료 19 개 중 15 개(79%)의 시료에서 석면이 검출되었다. 작업장별로는 산술평균으로 채석장 A의 개인시료가 0.017 개/cm<sup>3</sup>로 가장 높게 나타났으며, 채석장 B의 개인시료가 0.009 개/cm<sup>3</sup>, 제철소의 지역시료가 0.001 개/cm<sup>3</sup>이었다( $P_{\text{Kruskal-Wallis}}=0.068$ ). 채석장 개인시료의 작업장별 중앙값은 채석장 A의 개인시료가 0.004 개/cm<sup>3</sup>, 채석장 B의 개인시료가 0.008 개/cm<sup>3</sup>로 대부분의 시료가 낮은 농도를 보였다.

사문석 채석장 개인시료의 직무별 섬유 및 석면 농도는 **Table 3**과 같았다. 전체 16 개 시료 중 15 개(94%) 시료에서 공기 중 섬유가 검출한계 이상 검출되었으며, 12 개(75%) 시료에서 석면이 검출되었다. 직무별 공기

**Table 2.** Airborne total fiber and asbestos concentrations analyzed by work sites.

Work site	Sample type	PCM <sup>*</sup>						TEM <sup>†,‡</sup>						
		N <sup>§</sup>	AM <sup>  </sup> (f/cc)	SD <sup>¶</sup> (f/cc)	Median (f/cc)	Range (f/cc)	PK-W <sup>*</sup>	N <sup>§</sup>	No. of asbestos- detected samples	AM <sup>  </sup> (f/cc)	SD <sup>¶</sup> (f/cc)	Median (f/cc)	Range (f/cc)	P <sub>K-W</sub> <sup>*</sup>
Quarry A	Personal	8	0.036	0.038	0.022	<0.013-0.126	0.001	7	7	0.017	0.026	0.004	0.001-0.076	0.068
Quarry B	Personal	8	0.040	0.020	0.038	0.018-0.070		8	5	0.009	0.007	0.008	0.002-0.017	
Steel mill	Personal	9	-	-	-	<0.012-<0.040	-	-	-	-	-	-	-	-
	Area	6	0.008	0.006	0.007	<0.004-0.020		4	3	0.001	0.001	0.001	0.0004-0.003	
Total		31	0.024	0.025	0.018	<0.004-0.126	-	19	15	0.011	0.019	0.004	0.0004-0.076	-

\*PCM: phase contrast microscopy, <sup>†</sup>TEM: transmission electron microscopy

<sup>‡</sup>Concentrations of asbestos-detected samples were used for this statistics.

<sup>§</sup>N: number of samples, <sup>||</sup>AM: arithmetic mean, <sup>¶</sup>SD: standard deviation, <sup>\*</sup>P<sub>K-W</sub>: significance of Kruskal-Wallis test

**Table 3.** Airborne total fiber and asbestos concentrations of personal samples analyzed by job tasks of serpentine quarries.

Job task	PCM <sup>*</sup>					TEM <sup>†,‡</sup>							
	N <sup>§</sup>	AM <sup>  </sup> (f/cc)	SD <sup>¶</sup> (f/cc)	Median (f/cc)	Range (f/cc)	PK-W <sup>**</sup>	N <sup>§</sup>	No. of asbestos- detected samples	AM <sup>  </sup> (f/cc)	SD <sup>¶</sup> (f/cc)	Median (f/cc)	Range (f/cc)	P <sub>K-W</sub> <sup>**</sup>
Excavator operation	4	0.019	0.011	0.018	<0.006-0.034	0.035	3	1	0.004	-	0.004	0.004	0.140
Dump truck operation	4	0.033	0.017	0.032	0.017-0.053	-	4	4	0.004	0.003	0.004	0.001-0.008	-
Crusher/seperator operation	4	0.074	0.037	0.066	0.037-0.126	-	4	4	0.031	0.030	0.017	0.014-0.076	-
Wheel loader operation	4	0.025	0.007	0.023	0.019-0.036	-	4	3	0.008	0.009	0.004	0.002-0.018	-
Total	16	0.038	0.029	0.029	<0.006-0.126	-	15	12	0.014	0.020	0.006	0.001-0.076	-

\*PCM: phase contrast microscopy, <sup>†</sup>TEM: transmission electron microscopy

<sup>‡</sup>Concentrations of asbestos-detected samples were used for this statistics.

<sup>§</sup>N: number of samples, <sup>||</sup>AM: arithmetic mean, <sup>¶</sup>SD: standard deviation, <sup>\*</sup>P<sub>K-W</sub>: significance of Kruskal-Wallis test

중 섬유농도는 산술평균 순으로 파쇄/선별기 운전이  $0.074 \text{ 개/cm}^3$ 로 가장 높았으며, 덤프트럭 운전  $0.033 \text{ 개/cm}^3$ , 휠로더 운전  $0.025 \text{ 개/cm}^3$ , 굴삭기 운전  $0.019 \text{ 개/cm}^3$  순이었다( $P_{\text{Kruskal-Wallis}}=0.035$ ). 공기 중 석면 농도는 파쇄/선별기 운전이  $0.031 \text{ 개/cm}^3$ 로 가장 높았으며, 휠로더 운전  $0.008 \text{ 개/cm}^3$ , 덤프트럭 운전  $0.004 \text{ 개/cm}^3$ , 굴삭기 운전  $0.004 \text{ 개/cm}^3$  순이었다( $P_{\text{Kruskal-Wallis}}=0.140$ ).

#### IV. 고 찰

사문석 파쇄물의 석면함유율은 11개의 분석시료 중 제철소에서 채취한 1개의 시료가 산업안전보건법의 작업환경측정 대상 유해인자의 기준이며 석면안전관리법의 가공 변형된 석면함유가능물질 석면 허용기준 중 가공 변형을 위해 유통되는 경우의 기준인 1%를 초과하였으나, 사업장별 산술평균으로는 기준을 초과하지 않았다(MOEL, 2011; MOE, 2012). 환경부의 석면함유가능물질에 대한 분석방법은 다수의 시료 중 1 개 이상의 시료에서 기준을 초과하는 경우는 조사대상이 되는 해당 물질이 석면을 기준 이상 함유할 수 있는 것으로 간주하도록 규정하고 있다(MOE, 2012). 시료 수가 제한적이지만 본 연구의 분석결과를 환경부의 기준에 따라 해석한다면, 사문석 채석장에 적치된 사문석 파쇄물은 가공 변형을 위해 합법적으로 사용 가능하다.

공기 중 섬유농도는 제철소 근로자의 개인시료는 모두 불검출되었으나 사문석 채석장 근로자의 개인시료는 유의하게 높은 섬유농도를 보였다. 전체 25개의 개인시료 중 사문석 채석장에 채취한 1개(4%) 시료의 섬유농도가 고용노동부의 허용기준인 8시간 시간가중평균  $0.1 \text{ 개/cm}^3$ 를 초과하였으나, 투과전자현미경으로 석면과 비석면을 구분하여 분석한 결과 허용기준을 초과한 시료는 없었다. Cattaneo 등은 이탈리아의 사문석 채석 및 가공공장에서 채취한 개인시료를 투과전자현미경으로 분석한 결과 전체 시료의 약 8%가  $0.1 \text{ 개/cm}^3$ 를 초과하였다고 보고하였다(Cattaneo et al., 2012). 본 연구대상인 두 채석장은 작업 중 살수장치를 가동하여 습식으로 작업하였음에도 불구하고, 가장 높은 석면 농도의 개인시료가  $0.076 \text{ 개/cm}^3$ 로 허용기준의 76%에 달하는 수준이었다. 본 연구의 자료 수가 제한적이며, 선행연구에서 보고된 결과를 고려할 때 사문석 채석장의 근로자는 허용기준을 초과하는 수준의 공기 중 석면에 노출될 가능성을 배제할 수 없는 것으로 판단된다. 특히 고용노동부의 허용기준 설정물질의 측정 분석방법에



Figure 2. A cloud of dust generated during crusher/separator operation in a serpentine quarry.

따르면 공기 중 석면에 대해서는 위상차현미경법을 적용하도록 규정하고 있으므로, 사문석 채석장에서는 고용노동부의 규정에 따라 작업환경측정을 실시할 경우 허용기준을 초과할 가능성 더욱 크다.

사문석 채석장의 공정별로는 파쇄/선별기 운전 작업시 가장 높은 농도 수준의 공기 중 석면에 노출되었다. 이와 같이 높은 공기 중 석면 농도는 사문석을 파쇄하는 과정에서 암석 중 상대적으로 강도가 약한 백석면의 세맥이 존재하는 부위가 쉽게 파쇄되어 백석면이 파쇄된 암석 표면으로 노출되고, 이를 체질하여 입자의 크기에 따라 선별하는 과정에서 다량의 석면 분진이 바람에 날려 비산되기 때문에 추정된다(Figure 2). 따라서 채석장의 선별기 운전 작업 시에는 살수장치를 보다 충분히 가동하여 습식으로 작업하는 등 분진 발생을 억제하기 위한 적극적인 작업관리 조치가 요구된다.

본 연구에서 제철소의 지역시료에서는 석면이 검출되었으나 개인시료에서는 공기 중 섬유가 불검출되었다. 이는 제철소 근로자가 높은 농도 수준의 분진에 노출되어 시료채취 시 공기량을 적게 함으로써 시료의 검출한계가 높아진 이유에서 기인하는 것일 수 있다. 따라서 개인시료가 불검출되었더라도 근로자의 작업반경 내에서 채취한 지역시료에서 석면이 검출된 점을 고려할 때, 제철소 근로자도 작업 중 석면에 노출될 가능성이 있다.

#### V. 결 론

본 연구는 국내 안동지역 사문석 채석장에서 생산되는 사문석 암석 중의 석면함유 실태를 파악하고, 사문석 채석장과 제철소에서 사문석을 취급하는 근로자의

공기 중에 비산된 석면에 대한 노출 수준을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 안동지역 사문석 채석장에서 생산되는 사문석에서는 산술평균으로 1% 미만의 백석면이 검출되었다.

2. 사문석 채석장 근로자의 석면 노출이 확인되었으며, 직무별로는 파쇄/선별기 운전작업 근로자가 가장 높은 수준의 석면에 노출되었다. 석면의 노출 수준은 모든 시료가 국내 허용기준( $0.1 \text{ 개/cm}^3$ )을 초과하지 않았으나 고용노동부의 허용기준 측정분석법에 따라 위상차현미경법으로 평가 시 1개 시료가 허용기준을 초과하였다.

3. 제철소 근로자는 모든 개인시료 공기 중 섬유가 불검출되었으나 작업환경 내에서 채취한 지역시료에서 석면이 검출된 점을 고려 할 때, 작업 중 석면에 노출될 가능성이 존재하였다.

본 연구 결과 사문석 채석장의 근로자는 석면안전관리법에 따라 국내에서 합법적으로 채석하고 용도에 따라 사용이 가능한 석면이 1% 미만으로 함유된 사문석을 취급함에도 불구하고, 최고 허용기준의 76% 수준의 공기 중 석면에 노출되었다. 따라서 향후 사문석 등 자연적으로 석면이 함유된 광물을 취급하는 근로자에 대하여 작업관리를 강화하고, 관련 근로자에 대한 후속조사를 실시할 필요성이 있다.

## 참고문헌

- American Standard Testing and Materials (ASTM), Standard test method for microvacuum sampling and indirect analysis of dust by transmission electron microscopy for asbestos mass surface loading. ASTM Standard D 5756-02. 2003.
- Asian Citizen's Center for Environment and Health (ACCEH). POSCO & HYUNDAI Steel use asbestos contaminated serpentine. ACCEH Publication 2011-04. 2011.
- Asian Citizen's Center for Environment and Health (ACCEH). Survey report on asbestos in school playgrounds. ACCEH Publication 2011-19. 2011.
- Asian Citizen's Center for Environment and Health (ACCEH). Survey report on asbestos in baseball stadiums nationwide. ACCEH Publication 2011-23. 2011.
- Cattaneo A, Somigliana A, Gemmi M, Bernabeo F, Savoca D et al. Airborne concentrations of chrysotile asbestos in serpentine quarries and stone processing facilities in Valmalenco, Italy. *Ann Occup Hyg* 2012; 56(6):671-683.
- Choi JK. Cases of occupational disease caused by asbestos in Korea. Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA). KOSHA Publication Health 97-41-74. 1997:34-44.
- Choi JK, Paek DM, Paik NW, Hisanaga N, Sakai K. A study on several minerals contaminated with asbestiform fibers in Korea. *Korean Ind Hyg Assoc J* 1998; 8(2):254-263.
- Deer WA, Howie RA, Zussman J. *Serpentine*. In: Deer WA, Howie RA, Zussman J. *An introduction to the rock-forming minerals*. 2nd ed. Pearson Education Limited. 1992:344-352.
- Environmental Protection Agency (EPA). Method for the determination of asbestos in bulk building materials. EPA 600-R-93-116. 1993.
- Kim TW, Koh DH. Atypical asbestos exposure in workers - Cases from occupational safety and health research institute. *Korean J Occup Health* 2007;46(2):62-73.
- Klein C. Serpentine group. In: Klein C. *The manual of mineral science*. John Wiley & Sons, Inc.. 2002:528-530.
- Ministry of Employment and Labor (MOEL). Notification on the work environment monitoring and evaluation of designated work environment monitoring laboratories. Notification of Ministry of Employment and Labor 2011-55. 2011.
- Ministry of Employment and Labor (MOEL). Occupational Safety and Health Act. Act 10968. 2011.
- Ministry of Environment (MOE). Asbestos Safety Control Act. Act 10613. 2011.
- Ministry of Environment (MOE). Hazardous Chemical Control Act. Act 11260. 2012.
- Ministry of Environment (MOE). Minerals having the possibility of containing asbestos. Notification of Ministry of Environment 2012-72. 2012.
- Ministry of Environment (MOE). Sampling and analytical method on the survey and analysis of minerals having the possibility of containing asbestos. Notification of Ministry of Environment 2012-74. 2012.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Asbestos by TEM: NMAM 7402. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM) 4th ed. DHHS (NIOSH) Publication 94-113. 1994.
- Rohl AN, Langer AM, Selikoff IJ. Environmental asbestos pollution related to use of quarried serpentine rock. *Science* 1977:1319-1322.
- Sakai K, Hisanaga N, Kohyama N, Shibata E, Takeuchi Y. Airborne fiber concentration and size distribution of mineral fibers in area with serpentinite outcrops in Aichi prefecture, Japan. *Industrial Health* 2011;39: 132-140.