

국내 광산 종류별 근로자의 유해물질 노출 평가 - 발암성 물질을 중심으로 -

신용철^{1)†} · 최병순²⁾ · 이병규²⁾ · 이광용²⁾ · 이지태³⁾ · 이종성²⁾
이정오²⁾ · 김기웅²⁾ · 고경선²⁾ · 김태균²⁾ · 정호근²⁾

인제대학교 보건안전공학과¹⁾, 한국산업안전공단 산업안전보건연구원²⁾, 국립환경연구원 화학물질안전관리센터³⁾

Exposure Assessment of Air Contaminants by Type of Mines in Korea - Focused on Carcinogenic Substances -

Yong Chul Shin^{1)†} · Byung Soon Choi²⁾ · Byung Kyu Lee²⁾ · Gwang Yong Yi²⁾ · Ji Tae Lee³⁾ · Jong Sung Lee²⁾
Jeong O Lee²⁾ · Ki Woong Kim²⁾ · Tae Kyun Kim²⁾ · Kyung Sun Go²⁾ · HK Chung²⁾

Department of Occupational Safety and Health, Inje University¹⁾, Occupational Safety & Health Research Institute, Korea
Occupational Safety and Health Agency²⁾, Department of Environmental Risk Research, National Institute of Environmental Research³⁾

The objective of this study was to assess mining workers' exposures to potentially carcinogenic air contaminants with major non-carcinogenic contaminants in various types of mines in Korea. The number of mines by type was two coal, one mica ore, one lead/zinc ore, one iron ore, and two limestone mines. The concentrations of air contaminants (total/respirable dust, crystalline silica, chromium, lead, nickel, berillum, cadmium, and fibrous particulate) were determined. The geometric means (GMs) of total dust concentrations at coal, mica, lead/zinc ore, iron ore and limestone mines were 18.9, 1.82, 1.45, 0.95, and 1.29 mg/m³, respectively, and was significantly different among the kind of mines ($p < 0.05$). Average total dust concentrations in coal mines exceeded the occupational exposure limit for coal dust (5mg/m³) established by the Korea Ministry of Labor. The GMs of respirable dust concentration at coal, mica, lead/zinc ore, iron ore, coal and limestone mines were 5.15, 0.48, 0.17, 0.70, and 0.35 mg/m³, respectively, and significantly different

among the kind of mines ($p < 0.05$). The GMs of total and respirable crystalline silica concentrations at coal mines were 0.13 mg/m³ and 0.05 mg/m³, respectively, and the values at other mines were below the limit of detection or much lower than those of coal mines. Fibrous particulate in air samples was not detected or < 0.01 fibers/cc in all mine. Although the concentrations of carcinogenic metals (Cr(VI), Cr, Pb, Cd, Ni and Be) and non-carcinogenic metals (Fe and Cu) were below the exposure limits in all mines, but the carcinogenic metals were detected at relatively high levels in air samples from coal iron and limestone mines. It was found that the miners of all the mines were exposed at lower levels to mixture of potential carcinogens and that particularly the coal miners would have the higher risks of cancer with pneumoconiosis.

Key Word: Mining, Carcinogens, crystalline silica, Metals, Coal dust, Cr, Pb, Ni, Be, Cd

I. 서 론

광업은 다른 산업과 달리 심산유곡에

서, 지하 심부에서, 또는 해저에서 이루어지는 산업이므로 광산 특유의 장애와 위험을 지니고 있다. 일반적으로 광업은 제

조업과 달리 작업환경이 대부분 지하의 갱내라는 특수조건을 가지고 있으므로 자연히 환기, 조명, 습도, 소음, 분진, 화약폭발로 인한 유독가스 등이 문제가 된다. 이와 더불어 협소한 작업공간과 높은 작업강도 등의 어려운 조건을 지닌 산업이다. 이런 광업에 종사하는 광부들은 그 어떤

접수일 : 2002년 3월 14일, 채택일 : 2002년 8월 16일

†교신저자 : 신용철(경남 김해시 어방동 607 인제대학교 보건안전공학과

Tel : 055-320-3676, Fax : 055-325-2471, E-mail : ycsin@ijnc.inje.ac.kr)

산업에 종사하는 근로자들보다 여러 가지 위험에 폭로되고 있어 재해율이나 사망률이 높은 편이다 (한국산업안전공단, 2001). 광부들의 건강장해 중 가장 잘 알려진 것은 진폐증으로 우리나라에서도 진폐증자는 소음성 난청자와 함께 직업병 유소견자의 절대 다수를 차지하고 있다 (노동부, 2000).

1980년대 후반부터 시작된 석탄산업합리화조치에 의해 석탄광업이 침체되면서 우리나라 진폐증자의 대다수를 차지하는 탄광부 진폐증 유소견자가 줄어 전체 직업병 유소견자 중 진폐증 유소견자가 차지하는 비중은 감소되고 있지만, 주물, 조선 및 용접 등 제조업에서 발생하는 진폐증이 새로이 주목을 받고 있다 (최병순, 2000).

우리나라에서는 직업적 분진 폭로에 기인하는 모든 진폐증을 업무상 질병으로 근로기준법에 명시하고 있고, 1984년 ‘진폐의 예방과 진폐근로자의 보호 등에 관한 법률’ (진폐법)이 별도의 특별법으로 제정되어 석탄, 철, 텅스텐, 금은, 연 및 아연, 규석 채굴, 흑연, 활석 등 8 종류의 광업에 대해 진폐건강진단이 실시되고 있다.

진폐 건강진단 실시현황 및 실시결과를 살펴보면, 우리나라에서 1995년도 41개소이었던 8개 광업의 진폐건강진단 대상사업장 수가 98년 51개소까지 증가하였다가 1999년에 다시 37개소로 감소하였으며, 1995년도 9,620명이었던 진폐건강진단 대상근로자 수가 1999년에는 5,077명으로 감소하였다. 1999년도 전체 근로자 건강진단 실시결과 전체 직업병 유소견자 중 제조업의 66.8%에 이어 광업·농업 부문이 28.6%로 다음을 차지하고 있으며, 직업병 유소견자의 세부질환별 분포를 살펴보면 소음성 난청(58.9%)에 이어 진폐증(37.5%)이 그 다음을 차지하고 있다 (노동부, 2000).

일반적으로 광부들은 진폐증의 중요한 요인인 분진 외에도 광산 및 작업형태에 따라 정도의 차이는 있으나 석면, 금속(크롬, 니켈, 비소, 베릴륨 등), 유리규산, 디젤엔진 연소물질, 라돈 등 다양한 폐암 발

암물질에 노출되고 있다고 보고되고 있다 (Weeks, 1998).

현재까지 국외에서는 광부들에서 폐암과 관련하여 발암물질을 밝히고자 하는 연구가 많이 진행되어 왔다. 석면에 폭로될 경우 악성 중피종 뿐만 아니라 폐암이 유발될 수 있다는 사실은 잘 알려져 있으나 (Rom, 1992; Browne, 1994; Morgan and Gee, 1995) 탄광부 진폐증에 있어서는 연구결과가 일정하지 않다. 진폐증의 발생에 결정적인 영향을 미치는 유리규산(SiO_2)는 결정형 (crystalline)과 비결정형 (amorphous)이 있는데 International Agency for Research on Cancer (IARC)에서는 비결정형의 유리규산을 “인체 발암성으로 분류할 수 없는 (unclassifiable as carcinogenicity to humans, Group 3)” 물질로 분류하는 반면, 광업에 종사하는 근로자들이 노출될 수 있는 결정형의 유리규산은 “인체 발암성이 있는 (carcinogenic to humans, Group 1)” 물질로 분류하고 있다 (IARC, 2001).

이 외에도 광업에서 많이 사용되는 디젤엔진의 중장비 기계로부터 발생하는 디젤연소 배출물질 또한 광부들에게는 건강상 중요한 유해요인이라 할 수 있다. 그리고 각종 발암유발 가능한 비소, 크롬, 니켈, 납, 카드뮴, 베릴륨 등과 같은 중금속에 노출될 기회가 다른 산업보다는 광업이라는 업종 특성상 많은 것이 현실이다. 진폐증의 가장 유력한 요인으로 간주되는 충분진 및 호흡성 분진 역시 광업에 종사하는 광부들이 흔히 노출되는 유해인자이다.

우리나라에서는 1990년대 중반까지 간헐적으로 탄광에 종사하는 근로자들을 대상으로 진폐증의 유병률 조사 및 중금속 및 분진 등에 대한 노출평가가 있었으나 (김해정 등, 1991; 윤영노와 김영식, 1991; 윤영노와 정호근, 1991; 송세욱, 1993; 최병순, 1996), 석탄광업 외 다른 광업에 종사하는 근로자들의 유해물질 노출평가에 대한 조사는 거의 이루어지지 않고 있다. 한편 광업 근로자들이 광산에 종사하면서 폭로되는 유해요인은 국가별로, 그리고 한 국가에서도 지역에 따라 큰 차이를 보

이는 것으로 알려져 있다. 즉, 지질의 차이 등으로 인하여 광산마다 분진 등 유해요인의 성분과 그 유해정도가 다르며, 한 광산에서도 작업장의 지하 심도에 따라 유해한 정도가 다르다. 따라서 국가와 광업의 종류, 지역에 따라 그 양상이 다를 수 있기 때문에 일반적으로 외국에서 이루어진 연구결과를 우리나라에 직접 적용하기에는 많은 무리가 따른다.

현재 광산 작업의 기계화 및 현대화로 작업환경이 개선된 점이 있으나 개선에 대한 확인으로 노출 모니터링 및 이와 관련된 평가자료가 부족한 실정이다. 유리규산 및 분진과 같은 노출자료는 탄광 이외의 광업에 대해서는 연구된 바가 거의 없고 탄광에서도 10년 정도 그 농도변화에 대한 추적연구가 없는 실정이다. 이 외에도 암석에 함유되어 있는 석면, 각종 금속 농도에 대한 자료가 부족한 실정이다. 이와 같은 이유로 광업 전반에 대한 작업환경 및 유해인자들에 대한 노출평가를 실시하여 앞으로 발생하게 될 폐암과 같은 각종 질병을 예방하기 위한 자료의 확보가 필요하다.

본 연구의 목적은 여러 종류의 광산에 종사하는 근로자들을 대상으로 광산 종류 및 업체별 분진, 유리규산, 금속 등과 같은 각종 유해인자 특히 발암 가능한 유해물질들을 중심으로 노출실태를 파악하고 과거 노출자료와 비교하여 그 변화를 살펴보고자 수행되었다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상

본 연구의 대상은 폐암 발암물질의 존재가 예상되고, 조사를 위한 접근이 가능하고, 그리고 지역별 지질학적 차이를 가능한 한 줄이도록 서로 인근 지역에 위치하고 있는 광산으로 강원도 삼척 및 정선 그리고 경상북도 봉화에 소재한 7개 광산이었다.

광산 중에서도 작업환경이 열악한 지하광산을 주요 대상으로 하였으나, 현재 우

리나라 석회석 광업의 중요성을 감안하여 노천 석회석 광산도 1개 포함시켰다. 또한 과거 우리나라 광업 중 석탄광업이 중요하였던 점을 감안하여 석탄광산을 2개 선정하였으며 민영탄광 및 대한석탄공사 산하 탄광을 1개씩 선정하였다. 연구대상 광산에 대한 개략적인 정보는 다음 Table 1과 같다.

2. 연구내용 및 방법

1) 공기중 분진 유리규산 및 섬유 측정
공기중 총분진, 호흡성분진, 유리규산 및 석면 등 분진의 측정 및 분석은 National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) 방법 등 국제적으로 공인된 방법을 사용하였다. 근로자의 노출 농도를 파악하기 위해 시료채취기를 근로자의 호흡기 근처 (호흡위치)에 부착하여 개인 시료를 채취하였으며, 근로자에게 시료채취기를 부착하는 것이 불가능한 경우 가능한 한 근로자의 호흡기와 인접한 위치에 설치하여 지역시료를 채취하였다. 각 분진의 측정방법의 개요는 아래와 같다.

(1) 총분진 및 호흡성 분진

공기중 총분진 (total dust)은 NIOSH Method 0500 (NIOSH, 1994a)법에 따라 미리 건조기 (desiccator)내에서 방치하여 수분을 제거한 polyvinyl chloride (PVC) 여과지 (37mm-dia., 5 μ m pore size, Nucleopore, Costar Scientific Corp., U.S.A)를 사용하여 약 2 L/min의 유량으로 공기시료채취기 (MSA, Model

Escort ELF, U.S.A., or 17G9 GilAir Sampler, Gilian Instrument Corp., U.S.A., German)를 이용하여 시료를 채취하였다. 호흡성분진 (respirable dust)은 NIOSH Method 0600 (NIOSH, 1994b)법에 따라 수분을 제거한 PVC 여과지를 장착시킨 필터 홀더 앞에 10-mm nylon cyclone을 연결하여 1.7 L/min의 유량으로 채취하였다. 이와 같이 분진시료가 채취된 여과지를 시료채취전과 동일한 건조기와 비슷한 시간동안 방치한 후 화학천평 (Sartorius 20D, German)으로 중량을 재었다. 매 시료 세트의 질량을 잴 때마다 4개 - 6개의 공시료 여과지의 질량도 함께 재어 시료채취 전후의 질량을 공시료 값으로 보정하였다. 공시료 값으로 보정한 시료채취 전후의 질량을 공기채취량으로 나누어 공기중 분진 농도를 산출하였다.

(2) 결정형 유리규산

공기중 결정형 유리규산 (crystalline free silica) 시료는 NIOSH Method 7602 (NIOSH, 1994c)법에 따라 mixed cellulose ester membrane (MCE) 여과지 (37-mm dia., 0.8 μ m pore size, Millipore Corp., U.S.A.) 또는 PVC 여과지에 채취하였다. 시료가 포집된 여과지를 도가니에 넣고 회화로에서 600 $^{\circ}$ C에서 2 시간 동안 회화하였다. 회화된 시료와 potassium bromide (KBr) 250 mg을 균일하게 혼합한 후 프레스로 펠렛 (pellet)를 만들었다. 이와 같이 만든 펠렛을 푸리에변환적외선분광분석기 (fourier-transform infrared radiation spectrometer, FTIR, IFS66, BRUKER Corp., German)로 결정형 유리규산을 분석하였

다. 표준시료는 α -quartz (NIST)를 KBr로써 단계적으로 희석하여 여러 수준으로 만들어 분석한 후 검량선을 작성하였다.

(3) 섬유상 분진

공기중 섬유상 분진 (fibrous particulate)는 NIOSH Method 7400 방법 (NIOSH, 1994d)에 따라 MCE 여과지 (25-mm dia., 0.8 μ m pore size, Millipore Corp.)를 50 mm extension cowl이 부착된 필터홀더에 삽입한 후 약 2 L/min의 유량으로 공기시료를 채취하였다. 공기시료를 채취한 여과지 일부를 잘라 슬라이드 글라스에 올려놓은 후 가열판 위에서 예열된 acetone 증기를 켜 여과지를 투명화 시켰다. 투명화된 시료에 미량주사기로 triacetin을 첨가한 후 커버글라스로 덮었다. 이와 같이 처리한 시료는 위상차현미경 (MicroStar OneTen, American Optical, U.S.A.)을 사용하여 400배 배율에서 관찰하였다. 섬유계수는 NIOSH 7400 방법의 'A' 계수규칙에 따라 길이가 5 μ m 이상이고 길이 : 직경 비가 3 : 1 이상인 섬유만을 계수하여 공기중 농도를 산출하였다.

2) 공기중 금속 측정

발암성이 알려진 금속인 Pb, Cd, Be, Ni, Cr, Cr(VI)을 비롯하여 광산 작업환경의 주요 발생 금속이라 예측된 Fe, Cu도 함께 측정하였다. 이들 금속의 측정에 이용한 방법의 개요는 다음과 같다.

6가 크롬을 제외한 금속의 경우, NIOSH Method 7300법 (NIOSH, 1994e)에 따라 MCE 여과지 (37-mm dia., 0.8 μ m pore size, Millipore Corp.)에 약 2 L/min의 유량으로 채취하였다. 공기시료가 포집된

Table 1. General information on surveyed mines

Factory	Type of mining	Type of pit	Number of workers	Type of work	Using diesel engines	Ventilation mode
KD	coal	underground	800	3 shift	No	mechanical
DK	coal	underground	1,000	3 shift work	No	mechanical
DH	mica	underground	9	daywork	No	natural
KH	lead/zinc ore	underground	130	3 shift	No	natural
SY	Iron ore	underground	58	3 shift	Yes	natural
SD	limestone	underground	25	daywork	Yes	mechanical
SC	limestone	surface	83	daywork	Yes	-

여과지를 50 mL 비이커에 옮긴 후 과염소산 (HClO_4 , 70%, ACS reagent grade, Aldrich Chemical Co. Inc.)과 질산 (HNO_3 , 70%, ACS reagent grade, Aldrich Chemical Co. Inc.)을 첨가하였으며, 산이 든 비이커를 가열판 위에 올려 놓고 140 °C에서 8 - 12 시간 동안 가열하였다. 용액이 투명한 상태가 되었을 때 과염소산과 질산을 1 : 4로 혼합한 5% 산 용액을 첨가하여 10 mL로 희석하였다. 이 시료 용액 중에 존재하는 금속 (Cr, Ni, Cd, Pb, Be, Fe, Cu)의 양은 원자흡광광도계 (flame atomic absorption spectrometer, AAS, SHIMADZU AA-680, Japan)로 분석하였다.

공시료는 현장 시료와 동일한 조건 하에서 전처리하였고 시료분석값은 공시료 분석값으로 보정하였다. 회수율의 검정을 위해 각 금속의 일정량씩 표준용액을 여과지에 첨가하였다. 이와 같이 제조한 spiked sample은 3개 수준이었고 각 수준에서의 동일시료(replicate) 수는 4개였다. 가열판 위에서 시료 세트를 회화할 때마다 공시료와 회수율 검정시료도 함께 회화하였다. 현장 시료 분석값은 회수율로 보정하여 최종 농도를 산출하였다.

공기중 6가 크롬 시료는 NIOSH Method 7600 (NIOSH, 1994f) 또는 7604 (NIOSH, 1994g)에 따라 PVC 여과지에 채취하였다. 시료가 채취된 PVC 여과지는 바이알에 옮긴 후 운반, 보관하였으며, 시료의 전처리는 NIOSH 방법에 따라 먼저 시료 여과지를 비이커에 옮긴 다음 알칼리 용액 (2% NaOH/3% Na_2CO_3) 5 mL 첨가한 후 질소로 몇 분간 탈기시켜 140 °C의 가열판 위에서 40 분 미만의 시간 동안 가열하였다. 가열 도중 간헐적으로 비이커의 상부에 질소를 불어넣어 주었다. 최종 시료 용액의 부피는 20 - 25 mL로 맞추었다. 이와 같이 전처리한 시료 용액은 ion chromatography (IC, Model ED-40, Dionex Corp.)/visible absorbance detector (VAD, Model SC100, Thermoseparation Products Co.)를 이용하여 분석하였다. 용액중 6가 크롬은 IC column (IonPac AS7, Dionex Corp.)에 의해 분리된 후 post reagent인 2 mM diphenyl carbohydrazide (DPC)와 반응

하여 Cr(VI)-DPC 복합체가 형성되는데, 이 물질의 흡광도를 540 nm에서 측정하였다 (EPA, 1991; Shin and Paik, 2000).

3) 자료분석 및 노출 수준에 대한 평가
분진, 금속 자료의 대표값과 산포도는 각각 기하평균 (geometric mean, GM)과 기하표준편차 (geometric standard deviation, GSD)로 표현하였다. 어떤 그룹의 전체 자료중 대부분 검출한계 미만인 경우 분포를 범위로 제시하였다. 각 물질의 농도가 광업종류 및 업체간에 차이가 있는지 검증하기 위해 분산분석 및 다중 비교분석을 하였다. 자료의 통계분석은 SAS System, Release 6.12 (SAS Institute Inc.)를 사용하였다.

각 물질의 농도는 노동부 노출기준, American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH, 2001)의 Threshold Limit Value (TLV), Occupational Safety and Health Administration (OSHA, 1994)의 Permissible Exposure Limit (PEL) 또는 NIOSH (1992)의 Recommended Exposure Limit (REL)에 근거하여 평가하였다. Table 2는 본 여러기관에서 설정 또는 분류하고 있는 노출기준 및 발암성을 나타낸 것이다.

III. 연구결과

1. 총분진, 호흡성분진 및 유리규산

1) 공기중 총분진, 호흡성분진 및 유리규산 농도 분포

광산종류 및 사업장별 공기중 총분진, 호흡성분진 및 결정형 유리규산의 농도는 Table 3과 같으며 광산종류별 총분진 및 호흡성 분진의 평균 농도 분포를 Figure 1에 도시하였다.

공기중 총분진 농도는 석탄광산 2개소의 평균농도가 18.9 mg/m^3 으로 작업환경 노출기준 5 mg/m^3 (노동부, 1998)을 3배 이상 초과하는 높은 수준이었고, 최고 농도는 331.6 mg/m^3 으로 노동부 노출기준보다 66배 이상 높았다. 다른 광산인 견운모, 납/아연석, 철광석 및 석회석 (2개소) 광산의 총분진 평균 농도는 각각 1.82, 1.45, 0.95 및 1.29 mg/m^3 으로 노출기준 [(운모분진: 5 mg/m^3 (>1% SiO_2), 납석: 2 mg/m^3 , 철광석: 10 mg/m^3 (<1% SiO_2), 석회석: 10 mg/m^3] (노동부, 1998) 미만으로 탄광보다 현저히 낮은 농도를 보이고 있었다. 석회석 광산에서의 최고 농도는 225.5 mg/m^3 로 노출기준을 초과하였으나 견운모, 납/아연석, 철광석 광산의 총분진 시료중 노출기준을 초과하는 시료는 없었다. 통계검정

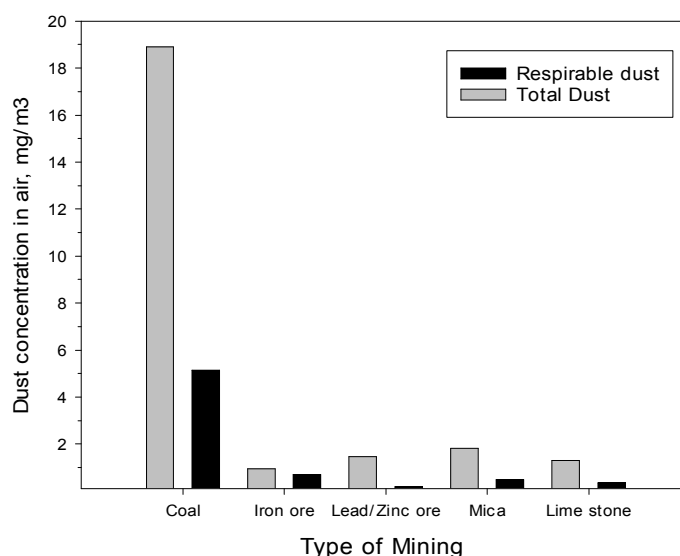


Figure 1. Airborne total and respirable dust concentrations by type of mining.

Table 2. Occupational exposure limits and carcinogenicity classification of air contaminants investigated

Substance	Occupational exposure limit, mg/m³, and carcinogenicity classification							
	MOL(Korea)	ACGIH	OSHA	NIOSH	IARC	NTP	EPA	
Coal dust (total)	5	-	-	-	-	-	-	
Coal dust (respirable)	2	0.4(coal dust, anthracite) (A4) 0.9(coal dust, bituminous) (A4)	2.4 (5% < SiO₂) 10/(%SiO₂+2) (5% > SiO₂)	1	Group 3	-	-	
Free silica (quartz)	0.1	0.05(A2)	10/(%SiO₂+2) (respirable) 30/(%SiO₂+2) (total dust)	0.05 (respirable)	Group 1	R	-	
Metal	CrVI	0.05 (A1)	0.05 (A1)	0.1 (CrO₃)	0.001(dust) (considered occupational carcinogen)	Group 1	K	Group A
	Cr	0.5	0.5 (A4)	0.1 (metal, insolubel salts) 0.5 (chromium II,III)	0.5	Group 3	-	Group D
	Ni	1 (metal)	1.5(elemental)(A5)	1	0.015 (considered occupational carcinogen)	Group 1 (nickel compounds) Group 2B (metallic nickel)	R	Group A (nickel refinery dusts)
		0.1 (soluble compounds)	0.1(soluble compounds)(A4) 0.2(insoluble compounds)(A1)					
	Pb	0.05	0.05 (A3)	0.05	<0.1	Group 2B	-	Group B2
	Cd	0.05	0.01 (A2)	0.005	lowest feasible (considered occupational carcinogen)	Group 1	K	Group B1
	Be	0.002 (A2)	0.002 (0.0002) (A1)	0.002	0.0005 (considered occupational carcinogen)	Group 1	R	Group B1
	Fe	5	5 (fume) (A4)	10 (dust,fume)	5 (dust,fume)	Group 1 (iron and steel founding) Group 2B (iron dextran complex)	R(iron dextran complex)	-
Asbestos	2 f/cc (A1)	0.1 f/cc (A1)	0.1 f/cc	0.1 f/cc (considered occupational carcinogen)	Group 1	K	Group A	

Note : Carcinogenicity classification by organization

MOL (Ministry of Labor, Korea) : A1 - Confirmed human carcinogen; A2 - Suspected human carcinogen

ACGIH: A1 - Confirmed human carcinogen; A2 - Suspected human carcinogen; A3 - Animal carcinogen; A4 - Not Classifiable as a human carcinogen; A5 - Not suspected as a human carcinogen

IARC : Group 1 - Carcinogenic to human; Group 2A - Probably carcinogenic to human; Group 2B - Possibly carcinogenic to human; Group 3 - Unclassifiable as to carcinogenicity in human; Group 4 - Probably not carcinogenic to human

NTP : Known(K) - Known to be a human carcinogen; RAHC(R) - Reasonably anticipated to be a human carcinogen

EPA : Group A - Human carcinogen; Group B1 - Probable human carcinogen, limited human data are available; Group B2 - Probable human carcinogen, sufficient evidence in animals and inadequate or no evidence in humans; Group C - Possible human carcinogen; Group D - Not classifiable as to human carcinogenicity; Group E - Evidence of non carcinogenicity for humans.

Table 3. Airborne total and respirable dust, and crystalline silica concentrations by type of mines

Type of mines	Total dust conc., mg/m ³	Respirable dust conc., mg/m ³	Crystalline SiO ₂ conc., mg/m ³	
			Total	Respirable
Coal (N ^a =2)	18.9 ^b (9.4) ^c 0.49-331.6 (n=24 ^d)	5.14 (9.1) 0.20 - 213.2 (n=25)	0.13 (15.1) <0.001 - 2.2 (n=5 ^d , 4 ^e)	0.050 (4.2) <0.001 - 0.45 (n=25, 23)
Mica (N=1)	1.82 (2.1) 1.08 - 3.08 (n=2)	0.48 (1.6) 0.34 - 0.67 (n=2)	0.017 (4.1) 0.006 - 0.046 (n=2)	<0.002 - 0.003 (n=2, 1)
Lead/Zinc ore (N=1)	1.45 (2.2) 0.59 - 3.70 (n=4)	0.17 (7.8) 0.01 - 0.63 (n=4)	<0.003 - 0.031 (n=4, 1)	0.011 (3.5) <0.0040 - 0.054 (n=4, 2)
Iron ore (N=1)	0.95 (1.9) 0.63-2.02 (n=3)	0.70 (1.6) 0.40 - 1.76 (n=14)	<0.002 (=3, 0)	<0.002 - 0.005 (n=14, 3)
Limestone (N=2)	1.29 (6.0) 0.10 - 225.5 (n=17)	0.35 (5.0) 0.018 - 27.3 (n=25)	<0.001 - 0.004 (n=4, 1)	<0.001 - 0.041 (n=25, 7)

^aNumber of mines; ^bGeometric mean(GM); ^cGeometric standard deviation (GSD); ^dNumber of air samples; ^eNumber of air samples above limit of detection (>1 µg/sample)

결과 광산 종류에 따라 총분진 농도는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다 ($p<0.05$). 그러나 두 개 사업장 이상이 포함된 탄광과 석회석 광산 모두에서 사업장에 따른 농도 차이는 유의하지 않았다 ($p>0.05$).

공기중 총분진 농도는 석탄광산 2개소의 평균농도가 18.9 mg/m³으로 작업환경 노출기준 5 mg/m³ (노동부, 1998)을 3배 이상 초과하는 높은 수준이었고, 최고 농도는 331.6 mg/m³으로 노동부 노출기준보다 66배 이상 높았다. 다른 광산인 건운모, 납/아연석, 철광석 및 석회석 (2개소) 광산의 총분진 평균 농도는 각각 1.82, 1.45, 0.95 및 1.29 mg/m³으로 노출기준 [(운모분진: 5 mg/m³(>1% SiO₂), 납석: 2 mg/m³, 철광석: 10 mg/m³(<1% SiO₂), 석회석: 10 mg/m³)] (노동부, 1998) 미만으로 탄광보다 현저히 낮은 농도를 보이고 있었다. 석회석 광산에서의 최고 농도는 225.5 mg/m³로 노출기준을 초과하였으나 건운모, 납/아연석, 철광석 광산의 총분진 시료중 노출기준을 초과하는 시료는 없었다. 통계검정 결과 광산 종류에 따라 총분진 농도는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다 ($p<0.05$). 그러나 두 개 사업장 이상이 포

함된 탄광과 석회석 광산 모두에서 사업장에 따른 농도 차이는 유의하지 않았다 ($p>0.05$).

탄광에서의 공기중 호흡성분진 농도 역시 총분진의 경우와 마찬가지로 다른 광산에 비해 훨씬 높았다. 탄광에서의 호흡성분진 농도는 평균 5.14 mg/m³로 노출기준 2 mg/m³(노동부, 1998)과 NIOSH의 권고기준 2 mg/m³(<5% SiO₂)을 2배 이상 초과하였고, 최고 수치는 213.2 mg/m³로 작업환경 노출기준의 106배 이상이었다. 건운모, 납/아연석, 철광석 및 석회석 (2개소) 광산의 호흡성분진 농도는 각각 0.48, 0.17, 0.70 및 0.35 mg/m³로 ACGIH의 호흡성 PNOC (Particulate Not Otherwise Classified, respirable)에 대한 TLV (3 mg/m³)보다 낮은 수준이었다 (이들 광석의 호흡성 분진에 대한 작업환경 노출기준은 없음). 이들 광산중 석회석 광산의 최고 농도는 27.3 mg/m³로 ACGIH 기준을 초과하였으나 다른 광산의 경우 이 기준을 초과하는 시료는 없었다.

광산 종류간 호흡성분진 농도는 유의한 차이가 있었다 ($p<0.05$). 두 탄광의 호흡성분진 농도는 유의한 차이가 없었으나 ($p>0.05$), 석회석 광산의 경우 두 사업장의 농도는 유의한 차이가 있었다 ($p<0.05$).

Figure 2는 광산 종류별 공기중 유리규산의 평균 농도를 나타낸 것이다. 탄광에서의 총유리규산 및 호흡성 유리규산 (respirable free silica)의 평균 농도는 각각 0.13 및 0.050 mg/m³로 나타났다. 이 광산의 호흡성 유리규산의 평균농도는 작업환경 노출기준 (0.1 mg/m³)보다 낮았으나 ACGIH 및 NIOSH 기준 (0.05 mg/m³)에 해당하는 수준이었다. 개별시료의 경우에는 노동부와 ACGIH/NIOSH 기준을 초과하는 시료가 있었다. 건운모, 납/아연석, 철광석, 석회석 (2개소) 광산의 호흡성 유리규산 농도는 비교적 낮았지만 납/아연석 광산의 시료 중에는 0.05 mg/m³을 초과하는 값이 존재하였다. 유리규산 농도는 광산 종류에 따라 통계적으로 유의한 차이가 있었으나 ($p<0.05$), 사업장에 따른 농도는 탄광과 석회석 광산 모두 유의한 차이가 없었다 ($p>0.05$).

Figure 3은 석탄광산, 철광석 광산, 석회석 광산의 호흡성 유리규산 측정 자료의 분포를 누적대수확률지에 나타낸 것이다. Figure 3과 같이 철광석과 석회석 광산의 농도는 서로 유사한 분포를 보이고 있지만 석탄광산의 농도분포는 이들과는 뚜렷한 차이가 있음을 알 수 있다. 석탄광산의

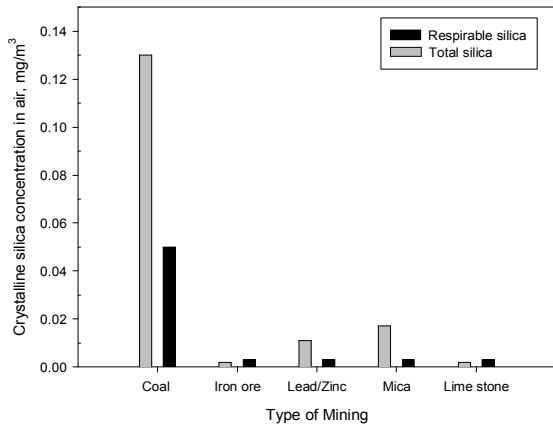


Figure 2. Airborne crystalline silica concentrations in air by type of mining.

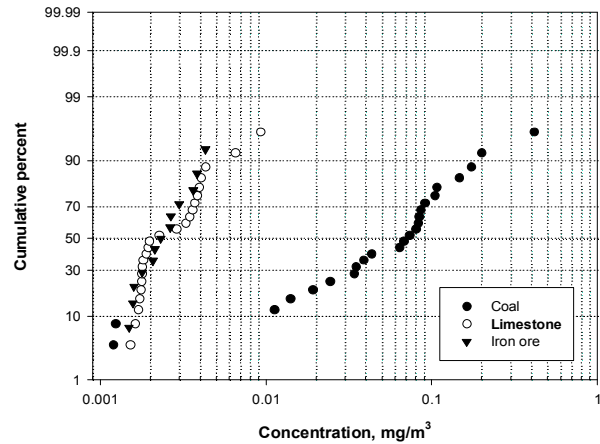


Figure 3. Airborne distribution of respirable crystalline silica concentrations at coal, iron ore, and limestone mines.

자료는 넓은 범위에 걸쳐 있고 고농도 영역에 분포하고 있는 것을 알 수 있다.

2) 분진중 유리규산 함량

공기중에서 채취한 총분진 및 호흡성 분진중 결정형의 유리규산 함량은 Table 4에서 보는 바와 같다. 석탄광산 총분진중 유리규산 함량은 $3.3 \pm 4.4\%$, 호흡성분진 중에는 $3.8 \pm 4.7\%$ 로 나타났으며, 건운모, 납/아연 광산의 경우 총분진중 유리규산 함량은 각각 1.0% 및 2.9%이었다.

3) 총분진중 호흡성분진 비율

분진 노출에 의한 인체 영향의 정도는 분진의 입경 분포가 중요한 요인중의 하나이다. 분진중 호흡성 분진의 비율을 파악하고자 동일한 장소에서 동시에 측정된 총분진과 호흡성 분진 농도의 비를 구한 결과는 Table 5와 같다.

호흡성 분진중 유리규산 함량은 석회석 광산에서 $11.2 \pm 16.6\%$ 로 가장 높았으며 다음으로 납/아연 광산 5.7%, 석탄광산 3.8 %, 건운모 0.9%, 철광석 0.65% 순이었

다. 석회석 광산의 호흡성 분진중 유리규산 함량은 다른 광산에 비해 변이가 커 최소값은 0.2% 이고 최대값은 36.9%이었다. 이 광산에서의 총 7개 시료중 2개시료의 값은 33.9, 36.9%로 다른 자료 (0.21 - 2.82%)와 큰 차이가 있었다.

그 결과 철광석 광산에서 총분진 농도에 대한 호흡성 분진 비가 71%로 가장 높았다. 철광석 광산에서는 대형의 디젤 운반차를 갭내에서 운행하는데 이때 디젤연소 배출물질이 발생되고 있었으며 그 입자는 광물분진보다 입경이 작아 호흡성분진 비율이 높게 나타난 것으로 판단된다. 그러나 분진농도는 예상보다 낮았는데 이는 탄소입자는 광물분진에 비해 비중이 작기 때문에 나타난 결과로 추정된다. 석회석 광산의 두 분진농도 비는 41%로 나타났다. 이 광산에서도 디젤운반차가 갭내에서 운행되고 있었으나 철광석광산에 비해 디젤엔진배출물이 발생량이 적은 것으로 관찰되었고 운행횟수도 적었다. 한편, 다른 광산의 호흡성 분진 비율은 납/아연 광산 30%, 건운모 광산 27%, 석탄광산 24%로 나타났다.

Table 4. Content of crystalline silica in airborne dust by type of mines

Type of mines	Content of SiO ₂ in dust, %	
	Total dust	Respirable dust
Coal (N ^a =2)	3.3 ± 4.4 (n ^b =4)	3.8 ± 4.7 (n=23)
Mica (N=1)	1.0 ± 0.65 (n=2)	0.90 (n=1)
Lead/Zinc ore (N=1)	2.9 (n=1)	5.7 ± 7.1 (n=2)
Iron ore (N=1)	< 0.3 (n=3)	0.65 ± 0.52 (n=3)
Limestone (N=1)	-	11.2 ± 16.6 (n=7)

^aNumber of mines, ^bNumber of air samples

Table 5. Proportion of airborne respirable dust against total dust concentration by type of mines

Type of mines	Respirable dust conc. / Total dust conc., %
Coal (N ^a =2)	24 ± 18 (n ^b =18)
Mica (N=1)	27 ± 7 (n=2)
Lead/Zinc ore (N=1)	30 ± 2 (n=4)
Iron ore (N=1)	71 ± 1 (n=3)
Limestone (N=1)	41 ± 51 (n=17)

^aNumber of mines, ^bNumber of air samples

2. 공기중 금속 농도

7개 광산의 광업 종류별 공기중 금속 농도의 분포는 Table 6과 같다. 대체로 작

업환경 노출기준 미만이었으며 일부 시료는 검출한계 미만으로 나타났다.

6가 크롬 [Cr(VI)]은 건운모와 납석 광산의 공기시료에서는 모두 검출되지 않았고 다른 광산에서는 검출된 시료가 일부 있었다. 검출된 시료중 최고 농도는 $0.37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 작업환경노출기준 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 크게 미달하였고 NIOSH 기준 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다도 낮은 수준이었다.

총크롬은 석탄 광산의 대부분 시료에서 검출되었으나 그 농도 수준은 낮아 노출기준에 크게 미치지 못하는 $0.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 전체 시료중 납석 광산에서 채취된 시료에서 최고 농도 ($6.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$)를 나타내었다.

석탄 광산과 철광석 광산 대부분의 공기시료(석탄: 19개중 17개, 철광석: 10개 시료 모두)에서 납 (Pb)이 검출되었으며 평균 농도는 각각 3.34 및 $4.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고 각 광산에서의 최고 농도는 각각 10.3 및 $27.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 납석 및 석회석 광산에서 채취된 시료중 납이 검출된 시료는 1/2 미만이었고 검출된 시료중 최고 농도는 각각 $11.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 $14.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 전체 광산 시료중 최고 농도는 $27.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 철광석 광산에서 채취된 시료로 나타났으며

노출기준 ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$)의 약 1/2 수준이었다. 건운모 광산의 경우 납이 검출된 시료는 없었다. 발암 잠재성이 있는 금속 성분중 납의 농도가 다른 성분들에 비해 전반적으로 노출기준에 가까운 수준이었다.

카드뮴은 건운모 및 납석 광산 시료에서 각각 평균 $0.39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 $1.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준으로 모두 검출되었고 납석 광산은 다른 광산에 비해 가장 높은 수준을 보였다. 철광석, 석탄, 석회석 광산에서는 전체 시료중 1/2 이상에서 카드뮴이 검출되었으며 이들 광산에서 측정된 카드뮴의 평균 농도는 각각 0.28 , 0.14 및 $0.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 카드뮴에 대한 노출기준을 우리나라에서는 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ACGIH는 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, OSHA는 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 정하고 있는데 광산 작업환경의 카드뮴 농도는 이들 기준보다 낮은 수준이었다. 전체 카드뮴 시료중 납석 광산에서 최고 $4.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나와 ACGIH TLV의 1/2, OSHA의 PEL 수준이었다.

건운모와 납석 광산에서 채취된 공기시료에는 니켈이 검출되지 않았다. 석탄 광산의 대부분 시료에서 니켈이 검출되었으나 최고 농도가 $2.20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 노동부의 작업환경 노출기준인 수용성 니켈의 기준 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 ACGIH의 불용성 니켈화합물

의 기준 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에는 크게 미달하였다. 철광석과 석회석 광산에서 채취된 공기시료의 절반 가량에서 니켈이 검출되었으나 노출기준에 훨씬 미달하였다.

공기중 베릴륨은 철광석 및 석탄 광산 시료에서 검출되었으며 평균 농도는 각각 $0.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 $0.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 석탄광산에서 18개의 시료중 13개 시료에서 검출되었으며 최고 농도 ($0.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$)는 NIOSH 기준 ($0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과하였으나 노동부와 ACGIH 기준 ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$)보다는 낮았다. 철광석 광산에서 채취된 시료중 가장 높은 농도는 $0.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 노출기준 미만이었다.

철은 다른 금속에 비해 가장 높은 농도를 보였다. 철은 철광석 광산보다 오히려 석탄 광산에서 높게 나타났다. 석탄광산에서 공기중 철 농도가 높은 이유는 비록 철함량은 낮으나 공기 중에 비산되는 분진량이 많기 때문이다. 석탄 광업의 평균 철 농도는 $167.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 철은 발암성이 의심되는 물질은 아니지만 광산에서 가장 일반적으로 노출될 수 있는 물질임을 알 수 있었다.

구리의 경우 전체 광산에서 대부분 낮은 농도로 나타났으며 전체 시료중 가장

Table 6. Airborne Metal concentrations by type of mines

Type of mines	Airborne concentration, $\mu\text{g}/\text{m}^3$							
	CrVI	Cr	Pb	Cd	Ni	Be	Fe	Cu
Coal (N ^a =2)	ND-0.29 (n=16, ^b 5 ^c)	0.78 (2.3) ND-2.54 (n=18, 17)	3.34 (2.1) ND-10.3 (n=18, 17)	0.14 (1.5) ND-0.29 (n=18, 9)	0.52 (2.8) ND-2.20 (n=18, 16)	0.30 (1.8) ND-0.59 (n=18, 13)	167.7 ^d (3.8) ^e 10.87-923.9 (n=18, 19)	1.71 (3.5) 0.24-12.6 (n=18, 18)
Mica (N=1)	ND (n=2, 0)	ND (n=2, 0)	ND (n=2, 0)	0.39 (1.3) 0.31-0.47 (n=2, 0)	ND (n=2, 0)	ND (n=2, 0)	9.79 (4.7) 3.26-29.4 (n=2, 2)	ND-0.79 (n=2, 1)
Lead/Zinc ore (N=1)	ND (n=3, 0)	ND-6.90 (n=5, 1)	ND-11.3 (n=5, 2)	1.70 (2.5) 0.63-4.89 (n=5, 5)	ND (n=5, 0)	ND (n=5, 0)	41.1 (3.3) 14.0-207.3 (n=5)	ND-5.67 (n=5, 14)
Iron ore (N=1)	ND-0.29 (n=4, 1)	0.63 (2.0) ND-2.45 (n=10, 5)	4.18 (2.2) 1.43-27.6 (n=10, 10)	0.28 (1.8) ND-0.75 (n=10, 9)	0.45 (1.9) ND-1.48 (n=10, 6)	0.18 (1.5) ND-0.28 (n=10, 6)	132.8 (1.9) 53.3-312.5 (n=10, 10)	ND-0.91 (n=10, 3)
Limestone (N=2)	ND-0.37 (n=9, 3)	0.55 (2.5) ND-2.61 (n=13, 11)	ND-14.3 (n=13, 4)	0.04 (6.1) ND-0.72 (n=13, 7)	0.39 (1.9) ND-1.98 (n=13, 7)	ND (n=13, 0)	28.1 (3.33) 6.37-513.8 (n=13, 11)	0.28 (2.9) ND-2.64 (n=13, 11)

Note : ND = Not detected (Cr(V): $<0.044 \mu\text{g}/\text{sample}$, Cr: $<0.33 \mu\text{g}/\text{sample}$, Pb: $<1.87 \mu\text{g}/\text{sample}$, Cd: $<0.16 \mu\text{g}/\text{sample}$, Ni: $<0.27 \mu\text{g}/\text{sample}$, Be: $<0.14 \mu\text{g}/\text{sample}$, Fe: $<3.54 \mu\text{g}/\text{sample}$, Cu: $<0.33 \mu\text{g}/\text{sample}$)

^aNumber of mines; ^bNumber of total air samples; ^cNumber of air samples detected; ^dGeometric mean; ^eGeometric standard deviation

높은 농도는 석탄광산에서 $12.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 하지만 이 농도 역시 노동부 작업환경 노출기준 (구리함: $0.1\text{ mg}/\text{m}^3$)에 비해 아주 낮은 수준이었다.

3. 공기중 섬유 농도

7개 광산에서 채취된 공기시료 (n=37)의 섬유상 분진 농도는 검출한계 미만 또는 $< 0.01\text{ fibers}/\text{cc}$ 로 나타났다. 따라서 관찰된 섬유를 모두 석면으로 가정하더라도 조사대상 모든 광산의 석면 농도는 노동부의 작업환경 노출기준 (백석면 $2\text{ fibers}/\text{cc}$, 갈석면 $0.5\text{ fibers}/\text{cc}$, 청석면 $0.2\text{ fibers}/\text{cc}$), OSHA, ACGIH 및 NIOSH 노출기준 (모든 형태의 석면 $0.1\text{ fibers}/\text{cc}$)보다 크게 낮았다.

IV. 고 찰

본 연구에서는 총분진, 호흡성분진, 유리규산, 섬유상 물질 및 금속을 주 대상으로 조사하여 각 유해물질에 대한 노출기준 초과 정도가 광산별 차이점을 고찰해 본 결과 다음과 같은 사실을 알 수 있었다. 전체 대상 광산중 건운모, 납/아연, 철광석 광산에서는 노동부 노출기준을 초과하는 총분진 시료는 없었으나 탄광에서는 절반 이상의 시료에서 그리고 석회석 광산에서는 일부 시료에서 노출기준을 초과하는 것으로 나타났다. 호흡성분진의 경우 건운모, 납/아연, 철광석 및 석회석 광산에 대한 정확한 노동부 노출기준이 규정되어 있지 않아 각 광산별로 노출기준에 대해 적절한 평가를 할 수 없었으나, 석탄광산 호흡성분진의 경우 절반이상의 시료에서 노동부 노출기준 ($2\text{ mg}/\text{m}^3$)을 초과하는 것으로 나타났다. 그리고 광산별 호흡성의 결정형 유리규산 허용기준 초과 정도는 석탄광산에서 노동부 노출기준 ($0.1\text{ mg}/\text{m}^3$)을 초과하는 시료가 일부 있었으며, ACGIH/NIOSH 기준 ($0.05\text{ mg}/\text{m}^3$)에는 반 이상의 시료가 초과하였다. 다른 종류의 광산에서는 대부분 검출한계 미만이거나 검출된 시료는 노출기준을 초

과하지 않았다. 이와 같은 결과에 근거하여 석탄광산에서는 대체로 분진 및 유리규산에 대한 노출이 심각하여 진폐증이나 폐암과 같은 질병 발생이 우려됨을 알 수 있었으며, 다른 광산은 대부분 각 물질마다 노출기준 이하이지만 유리규산과 같은 발암성의 물질이 일부 검출되는 것으로 보아 더욱 철저한 관리가 필요함을 알 수 있었다.

발암 물질로 알려져 있는 6가 크롬, 니켈, 카드뮴, 납, 베릴륨을 포함하여 크롬, 철, 구리 등의 금속은 모든 광산에서 검출한계 미만이거나 검출되더라도 노출기준에는 미치지 못하였다. 그러나 철광석, 석탄, 석회석 광산의 경우 이와 같은 발암성의 금속들이 비록 낮은 수준이지만 대부분 검출되는 것으로 보아 이들 금속들이 복합적으로 건강상 영향을 줄 가능성이 있었다.

본 연구에서 디젤엔진 중장비로부터 주로 발생하는 디젤연소배출물질 (diesel exhaust) 중 발암물질인 다핵방향족탄화수소 (polynuclear aromatic hydrocarbons, PAH)에 대한 노출평가를 수행하기 위해 개인시료 및 지역시료 형태로 NIOSH Method에 따라 filter와 sorbent tube에 시료를 채취하여 gas chromatography (GC)로 분석하였으나 모든 시료가 검출한계 미만으로 평가되었다. 본 연구에서는 PAH가 검출되지 않았지만, 일반적으로 외국의 경우 석탄광산 및 여러 종류의 광산에서는 PAH 및 디젤연소배출물질중 입자상물질들 (diesel particulate matter, DPM)이 발견되었다고 보고된 예가 많다 (Westaway와 Faulds, 1983; Bagley et al., 1992; Cantrell와 Watts, 1997). 본 연구에서는 특히 철광석 광산에서 대형의 디젤엔진 운반차들이 사용되어 배출물질이 발생하는 것이 관찰되었다.

현재까지 우리나라의 경우 광업의 작업환경중 각종 유해물질에 관한 노출실태 조사가 매우 미흡하여 석탄광산에서의 금속과 분진에 대한 결과가 대부분이며 이중 1980년대 중반과 1990년대 초 사이 강릉과 태백지역 석탄광산을 중심으로 총분진, 호흡성분진, 유리규산 함유량 등을 살

펴본 연구조사들이 주를 이루고 있다(국립노동과학연구소와 백남원, 1986; 최호준 등, 1987; 윤영노와 이정주, 1988; 윤영노와 정호근, 1991; 송세옥, 1993)

위 연구들을 포함하여 우리나라 석탄광산에서 1954년부터 1994년까지 주로 호흡성분진과 유리규산에 대해 발표된 자료를 개괄적으로 고찰한 백남원 (1999)의 연구를 살펴보면 호흡성분진의 평균 농도는 채탄작업에서 $3.1 - 8.5\text{ mg}/\text{m}^3$, 굴진작업에서는 $0.6 - 3.7\text{ mg}/\text{m}^3$ 으로 보고하였다. 그리고 호흡성분진중 유리규산의 함유량은 채탄작업과 굴진작업에서 각각 $0.6 - 3.2\%$, $2.6 - 11.2\%$ 이었다고 보고하였다. 본 연구결과와 비교해 보면 호흡성분진의 경우 전체 평균 $5.14\text{ mg}/\text{m}^3$ 중 채탄 $37.7\text{ mg}/\text{m}^3$, 굴진 $1.37\text{ mg}/\text{m}^3$ 로 채탄작업의 경우 본 연구에서 훨씬 높게 나타났음을 알 수 있다. 유리규산 함유량은 본 연구에서 전체 3.8% 중 채탄 0.39% , 굴진 6.3% 로 위 연구와 크게 차이가 나지 않았으며 단지 채탄작업의 경우 본 연구결과가 약간 낮은 함유량을 나타냄을 알 수 있었다. 결과적으로 채탄작업의 경우 호흡성분진은 굴진작업 보다 높지만 유리규산 함유량은 오히려 더 낮다는 사실은 위 연구와 본 연구결과에서 보듯이 뚜렷이 알 수 있었다.

본 연구의 석탄광산에서 분진을 포함한 각종 유해물질의 노출평가 결과 근로자들에게 건강위험을 줄 수 있는 요인으로 총분진 및 호흡성분진이 가장 문제시되는 것으로 나타났다. 또한 다른 광산에 비해 유리규산 농도도 대체로 높은 편이어서 진폐증 및 폐암과 같은 질병을 유발할 가능성이 높다고 생각된다. 이 석탄광산에서 특히 농도가 높은 채탄, 보갱 작업자에 대해서는 우선적이고 집중적인 대책이 요망된다. 공학적 대책, 근로자개인 보호대책 등 위험요인 노출을 감소시키기 위한 개선방안을 강구해야 할 것이다.

석회석 광산의 경우 연구결과 총분진 및 호흡성분진의 평균 농도는 노출기준 이하였지만 노출기준을 초과하는 시료가 있었다. 여러 작업들 중 청소, 분쇄, 공무업무에 담당하는 근로자가 비교적 분진 노출기준을 초과할 가능성이 많아 이들에

대한 우선적인 노출관리가 필요한 것으로 본다. 이외 유리규산 및 석면, 금속에서는 대체로 낮은 수준으로 이들 물질들에 의한 영향을 적은 것으로 판단된다.

철광석 광산은 대형의 디젤엔진 운반차량을 갱내에서 운행하므로 배기가스가 다량 발생하고 있어 유해 연소가스를 비롯한 디젤엔진배출물이 주요 유해인자로 판단된다. 조사결과 이 광산에서는 대형의 디젤엔진 차량을 갱내에서 운행하는데 이때 디젤엔진배출물이 다량 발생하는 것이 관찰되었고, 총분진중 호흡성분진이 차지하는 비율이 71%로 높았으나 호흡성분진 농도는 노출기준 이하로 예상보다 낮은 수준으로 나타났다. 디젤연소에 의해 발생된 입자는 광물분진보다 입경 분포가 작아 호흡성분진 비율이 높았으나 불완전 연소된 탄소입자는 비중이 작기 때문에 중량농도를 크게 증가시키지 않았던 것으로 판단된다. 이 광산에서이 조사대상 유해물질들의 수준은 노출기준 미만의 낮았으나 디젤엔진배출물이 주요 유해요인으로 판단되므로 이에 대한 추가적인 조사연구가 필요할 것이다.

연·아연 광산의 작업기를 사용하는 굴진 공정 및 적재, 운반 공정에서 측정된 분진, 금속, 유리규산, 석면 전체적으로 그 농도는 노출기준 미만의 비교적 낮은 수준이었다. 측정기간 중 굴진 작업을 하고 있었고 적재장소는 굴진 장소와 인접해 있어 분진농도가 높으리라 예상되었는데 측정결과는 낮게 나타났다. 이는 작업장소가 암벽으로부터 스며 나온 물기에 의해 완전히 젖어 있는 습식 상태였기 때문에 분진 비산이 억제되었던 것으로 판단된다. 이러한 공정에서 중점적으로 관리해야할 사항은 저온, 습기에 의한 장애와 작업기에 의한 소음, 진동 요인을 들 수 있으나 이들 요인에 대한 대책이 대체로 미흡한 실정이었다.

견운모 광산 역시 근로자에게 건강상 큰 영향을 줄만한 높은 농도를 가진 유해물질은 없는 것으로 나타났으며, 본 연구에서 실시한 모든 유해물질에 대해 노출기준 미만의 수준이었다.

1990년대 이후 광산업종 및 관련 근로

자가 감소함에 따라 작업환경 등에 대한 관심이 소홀해지고 사회적으로 관심이 둔화되면서 광산업에 대한 세밀한 조사연구가 이루어지지 않았다. 최근 기계류 및 작업공정 등이 현대화, 자동화가 많이 이루어져 작업조건이 향상되었지만 작업환경 개선은 미흡한 것으로 나타났다. 대략 10년이 지난 지금도 여전히 각종 분진 및 유해물질 노출수준이 크게 변함이 없다는 사실이 이를 증명해 준다. 1960년대 광업에 종사하였던 근로자들이 서서히 진폐증 및 폐암과 같은 건강장애를 나타내고 있어 재발 또는 증가가 되지 않도록 하여야 할 것이다. 이를 위해 체계적인 역학조사 및 노출평가를 토대로 구체적인 관리방안 및 예방대책을 세울 필요가 있을 것으로 판단된다.

V. 결 론

국내 7개의 광산을 대상으로 광산종류별로 근로자의 발암물질을 비롯한 유해물질 노출 농도를 평가한 결과는 다음과 같다.

1. 총분진 농도는 석탄광산에서 평균 18.9 mg/m^3 으로 가장 높았으며 노동부 작업환경 노출기준 5 mg/m^3 을 훨씬 초과하는 수준이었다. 견운모, 납·아연석, 철광석, 석회석 광산의 총분진 평균 농도는 각각 $1.82, 1.45, 0.95, 1.29 \text{ mg/m}^3$ 이었다. 통계검정 결과 광산 종류에 따라 총분진 농도는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다 ($p < 0.05$).

2. 호흡성분진의 경우 석탄광산에서 평균 5.14 mg/m^3 으로 다른 광산에 비해 높았고 노동부 작업환경 노출기준 2 mg/m^3 보다 높았으며 견운모, 납·아연석, 철광석, 석회석 광산의 평균 농도는 각각 $0.48, 0.17, 0.70$ 및 0.35 mg/m^3 으로 노출기준 미만이었다. 광산 종류간 호흡성 분진 농도는 유의한 차이가 있었다 ($p < 0.05$).

3. 잠재적인 발암물질로 알려져 있는 유리규산의 경우, 석탄광산에서 총유리규산 및 호흡성 유리규산 평균 농도가 각각 0.13 및 0.05 mg/m^3 으로 다른 광산에 비해

높았다. 석탄광산의 호흡성 유리규산의 평균 농도는 노출기준에 해당되는 수준이었다.

4. 모든 광산에서 잠재적인 발암물질로 알려진 금속인 Cr(VI), Cr, Cd, Ni, Be이 한 가지 이상 검출되었으나 이들의 농도는 노출기준보다 낮은 수준이었다. 석탄광산에서는 일부 시료에서 Cr(VI), Cr, Cd, Ni, Be이 검출되었으며 전체 시료의 평균 농도는 각각 $0.29, 2.54, 10.3, 0.29, 2.20, 0.59 \mu\text{g/m}^3$ 이었다.

REFERENCES

- 김해정, 최호준, 정호근. 강릉·태백지역 석탄광산의 탄 및 호흡성 탄분진중 금속 농도 비교에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1991;1(1):82-88
- 국립노동과학연구소, 백남원. 분진작업장 유해환경조사연구. 연보 43호(86-5호), 노동부, 국립노동과학연구소; 1986
- 노동부. 화학물질 및 물리적인자의 노출 기준. 노동부 고시 제97-65호, 노동부; 1998
- 노동부. 1999년 근로자 건강진단 실시결과. 노동부; 2000
- 노동부. 산업재해통계. 한국산업안전공단, 노동부; 2001. Available from: URL: <http://www.kosha.or.kr/statistics/index.htm>
- 백남원. 한국 석탄광부들의 분진노출에 관한 역사적 고찰. 1954-1994. 국민보건연구소 연구논총 1999;9(1):36-41
- 송세욱. 일부 석탄광산의 공정별 호흡성 분진 및 유리규산의 폭로 농도 가톨릭대학교 산업보건대학원 보건학석사 학위논문. 가톨릭대학교, 1993
- 윤영노, 김영식. 일부 석탄광산 기중 부유 분진의 입경 분포와 호흡성 분진 비율. 한국산업위생학회지 1991;1(1):62-67
- 윤영노, 이정주. 태백지역 석탄광산의 호흡성 분진 폭로 농도. 한국대기보전학회지 1988;4(1):23-32
- 윤영노, 정호근. 태백지역 석탄광산의 작

- 업부서별 호흡성 분진 폭로농도 한
국산업위생학회지 1991;1(1):47-55
- 최병순. 한국의 석탄광업에서 발생한 진
폐증의 실태. -발생에 관여하는 요인
및 발생률-. 대한산업의학회지 1996;8
(1):137-152
- 최병순. 진폐증은 광부에서만 생기는가.
산업안전보건연구원 직업병연구센
터. 2000. Available from: URL:http://
home.kosha.net/~cfodr/index-2.htm
- 최호춘, 천용희, 윤영노, 김해정. 태백 및
강릉지역 석탄광의 호흡성 분진과 석
영농도에 관한 조사. 예방의학회지
1987;20(2):261-269
- American Conference of Governmental In-
dustrial Hygienist (ACGIH). Threshold
Limit Values for Chemical and
Physical Agents, and Biological Expo-
sure Indices. ACGIH, Cincinnati, Ohio,
2001
- Bagley ST, Baumgard KJ, Gratz LD.
Polynuclear Aromatic Hydrocarbons
and Biological Activity Associated with
Diesel Particulate Matter Collected in
Underground Coal Mines. Bureau of
Mines IC 9324; 1992
- Browne K. Asbestos-related disorders. In:
Parkes WR, ed. Occupational lung
disorders. Oxford: Butterworth-
Heinemann Ltd., 1994, 411-504
- Cantrell BK, Watts WF Jr. Diesel Exhaust
Aerosol: Review of Occupational Ex-
posure. Appl. Occup. Environ. Hyg.
1997;12(12):1019-1027
- U.S. Environmental Protection Agency
(EPA). Method 218.6 Determination of
Dissolved Hexavalent Chromium in
Drinking Water, Groundwater and
Industrial Wastewater Effluents by Ion
Chromatography. Rev. 3, by E.J. Arar,
S.E. Long and J.D. Pfaff. EPA,
Cincinnati, Ohio; 1991
- International Agency for Research on
Cancer (IARC). Overall Evaluations of
Carcinogenicity to Humans. As eva-
luated in IARC Monographs Vol. 1-77,
IARC, Lyons, France, 2001. Available
from: URL:http://193.51.164.11/monoeval
/crthall.html
- Morgan WKC, Gee JBL. Asbestos-related
diseases. In: Morgan WKC, Seaton A,
eds. Occupational lung diseases. Phil-
adelphia: W.B. Saunders Company,
1995, 308-73
- National Institute for Occupational Safety
and Health (NIOSH). Particulates Not
Otherwise Regulated, Total (Method
0500). In NIOSH Manual of Analytical
Method (NMAM), 4th ed., (DHHS
(NIOSH) Pub. No. 94-113). NIOSH,
Cincinnati, Ohio; 1994a
- National Institute for Occupational Safety
and Health (NIOSH). Particulates Not
Otherwise Regulated, Respirable (Me-
thod 0600). In NIOSH Manual of
Analytical Method (NMAM), 4th ed.,
(DHHS(NIOSH) Pub. No. 94-113).
NIOSH, Cincinnati, Ohio; 1994b
- National Institute for Occupational Safety
and Health (NIOSH). Silica, Crystalline
by IR (Method 7602). In NIOSH
Manual of Analytical Method (NMAM),
4th ed., (DHHS(NIOSH) Pub. No.
94-113). NIOSH, Cincinnati, Ohio;
1994c
- National Institute for Occupational Safety
and Health (NIOSH). Asbestos and
other Fibers by PCM (Method 7400).
In NIOSH Manual of Analytical
Method (NMAM), 4th ed., (DHHS
(NIOSH) Pub. No. 94-113). NIOSH,
Cincinnati, Ohio; 1994d
- National Institute for Occupational Safety
and Health (NIOSH). Elements by ICP
(Method 7300). In NIOSH Manual of
Analytical Method (NMAM), 4th ed.,
(DHHS(NIOSH) Pub. No. 94-113).
NIOSH, Cincinnati, Ohio; 1994e
- National Institute for Occupational Safety
and Health (NIOSH). Chromium,
Hexavalent (Method 7600). In NIOSH
Manual of Analytical Method (NMAM),
4th ed., (DHHS(NIOSH) Pub. No.
94-113). NIOSH, Cincinnati, Ohio;
1994f
- National Institute for Occupational Safety
and Health (NIOSH). Chromium,
Hexavalent (Method 7604). In NIOSH
Manual of Analytical Method
(NMAM), 4th ed., (DHHS(NIOSH)
Pub. No. 94-113). NIOSH, Cincinnati,
Ohio; 1994g
- National Institute for Occupational Safety
and Health (NIOSH). NIOSH Reco-
mmendations for Occupational Safety
and Health. Compendium of Policy
Document and Statements. NIOSH,
Cincinnati, Ohio, pp. 63-64, 1992
- Occupational Safety and Health Admini-
stration (OSHA). 29 CFR Part
1910.1000, Air Contaminants, Final
Rule, Permissible Exposure Limits,
New York, Washington, DC, 1994
- Rom WN. Asbestos-related diseases. In:
Rom WN, ed. Environmental and
occupational medicine. Boston: Little,
Brown and Company, 1992, 269-91
- Shin YC and Paik NW. Reduction of
Hexavalent Chromium Collected on
PVC Filter. AIHAJ 2000; 61(4):
563-567
- Weeks JL. Health hazards of mining and
quarrying. In: Stellman JM, ed. Ency-
clopaedia of occupational health and
safety. Geneva: ILO, 1998; 74.51-74.55
- Westway KC, Faulds AJ. Diesel PAH
Levels in Underground Mines. In:
Health Issues Related to Metal and
Nonmetallic Mining. W.L. Wagner,
W.N. Rom, and J.R. Merchant, Eds.
Butterworth Co., Boston, MA; 1983:
pp. 355-378