

국내 일부 석탄광산 근로자들의 직무별 공기중 분진 및 유리규산 노출 평가

신용철[†] · 최병순¹⁾ · 이병규¹⁾ · 이광용¹⁾ · 이지태²⁾ · 이종성¹⁾ · 이정오¹⁾ · 김태균¹⁾ ·
고경선¹⁾ · 김기웅¹⁾ · 정호근¹⁾

인제대학교 보건안전공학과, 한국산업안전공단 산업안전보건연구원¹⁾, 국립환경연구원 화학물질안전관리센터²⁾

Evaluation of Workers' Exposures to Total Dust, Respirable Dust, and Crystalline Free Silica by Job in Korean Coal Mines

Yong Chul Shin[†] · Byung Soon Choi¹⁾ · Byung Kyu Lee¹⁾ · Gwang Yong Yi¹⁾ · Ji Tae Lee²⁾ · Jong Seong Lee¹⁾ · Jeong O Lee¹⁾ ·
Ki Woong Kim¹⁾ · Tae Gyun Kim¹⁾ · Kyung Sun Go¹⁾ · Ho Keun Chung¹⁾

*Department of Occupational Health & Safety, Inje University; Occupational Safety & Health Research Institute,
Korea Occupational Safety and Health Agency¹⁾; Center for Chemical Safety Management,
National Institute of Environmental Research²⁾*

The purpose of this study was to evaluate airborne total, respirable dust and crystalline silica concentrations by job or process in underground coal mines. The results were as follows:

1. The geometric mean(GM) of total dust concentrations at all coal mines was 18.9mg/m³. The total dust concentrations by job were 180.4mg/m³ at coal face, 7.32mg/m³ at beam construction, 5.96mg/m³ at rock drilling, 2.28mg/m³ at loading/transportation, and 1.70mg/m³ at transportation. The total dust concentration at coal face was significantly higher than those at any other operations(p<0.05).

2. The GM of respirable dust concentrations at all coal mines was 5.14mg/m³. The respirable dust concentrations by job were 37.7mg/m³ at coal face 22.7mg/m³ at beam construction, 2.89mg/m³ at loading/transportation, 1.37mg/m³ at rock drilling, and 0.59mg/m³ at transportation. There was a statistically significant difference among jobs(p<0.05).

3. The GMs of total and respirable crystalline silica concentrations were 0.13mg/m³ and 0.05mg/m³, respectively.

The crystalline silica contents in airborne total and respirable dust samples were 3.3% and 3.8%, respectively. The silica contents in respirable dust by job were 6.3% at rock drilling, 4.7% at loading/transportation, 2.6% at beam construction, and 0.39% at coal face.

4. The 66.7% of total dust samples exceeded the Korean governmental occupational exposure limit(Korean OEL), and the 64.0% of respirable coal dust samples exceeded the Korean OEL. The percentages of total crystalline silica samples exceeding the Korean OEL, the American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) Threshold Limit Value(TLV) and the Occupational Safety and Health Administration(OSHA) Permissible Exposure Limit(PEL) were 64%, 84% and 72%, respectively. The percentage of respirable silica samples exceeding the above exposure limits were 28%, 60% and 72%, respectively.

Key Words: Underground coal mines, Total and respirable dust, Coal dust, Total and respirable crystalline silica

접수일: 2002년 9월 9일, 채택일: 2002년 11월 20일

† 교신저자: 신용철(경남 김해시 어방동 607 인제대학교 보건안전공학과

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

I. 서 론

석탄광업은 우리나라에서 1960년대까지 매우 중요한 산업중의 하나로 주목받아 왔지만 점차 중공업 및 제조업 등으로 산업화가 이루어지면서 침체되어 결국 300개가 넘는 석탄광산이 1988-89년 석탄산업합리화조치에 의해 대부분 폐광 처리되어 현재 11 개소(민영: 8, 대한석탄공사 산하: 3)의 석탄광산만이 남아있다(대한석탄공사, 2000).

석탄광산은 지하에서 이루어지는 작업이 대부분으로 작업환경 측면에서 광산 특유의 조건들로 인해 다른 산업에 비해 근로조건이 열악한 실정이다. 광산 작업환경은 밀폐된 공간이고 작업공간이 협소하고, 환기가 불량할 뿐 만 아니라 작업강도가 높은 특성이 있다.

여러 가지 유해인자들 중에서도 근로자들의 건강에 가장 문제가 되는 것으로 탄광부 진폐증의 원인이 될 수 있는 분진과 유리규산을 들 수 있다. 이들 물질들의 노출기준을 살펴보면 우선 우리나라 노동부에서는 석탄분진중 총분진 기준을 5 mg/m³, 호흡성분진 2 mg/m³, 유리규산의 경우 0.1 mg/m³으로 설정하고 있다(노동부, 1998). 석탄분진의 American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH) Threshold Limit Values (TLV)는 총분진에 대한 것은 없고, 호흡성분진에 대해 역청탄(bituminous) 0.9 mg/m³, 무연탄(anthracite) 0.4 mg/m³로 설정되어 있다. 그리고 호흡성 결정형 유리규산(respirable crystalline silica)에 대한 TLV는 0.05 mg/m³이다(ACGIH, 2001). 호흡성 석탄분진의 Occupational Safety and Health Administration(OSHA) Permissible Exposure Limits (PEL)은 2.4 mg/m³($<5\% \text{ SiO}_2$) 또는 10/($\% \text{ SiO}_2 + 2$)($>5\% \text{ SiO}_2$)로 규정하고 있다. 그리고 유리규산의 PEL은 10/($\% \text{ SiO}_2 + 2$)(호흡성분진), 30/($\% \text{ SiO}_2 + 2$)(총분진)으로 설정하고 있다(OSHA, 1994).

결정형(crystalline)의 유리규산(SiO_2)은 International Agency for Research on Cancer (IARC)에서 "인체 발암성이 있는(carcinogenic to humans, Group 1)" 물질로

분류하고 있다(IARC, 2001). ACGIH에서는 호흡성의 석탄분진(respirable coal dust)의 경우 "인체발암성물질로 분류할 수 없는물질(Not Classifiable as a Human Carcinogen, A4)", 호흡성의 결정형 유리규산은 "의심되는 인체발암성물질(Suspected Human Carcinogen, A2)"로 규정하고 있다(ACGIH, 2001). 반면, 우리나라 노동부에서는 석탄 분진 및 유리규산에 대한 발암성은 규정되어 있지 않다(노동부, 1998).

탄광에서는 채탄 및 굴진 작업공정에서 착암기를 이용하여 천공작업을 하거나 또는 발파작업에 의해서 분진이 발생된다. 이외 석탄의 적재 및 운반과 같은 공정에서도 그 양의 차이는 있겠지만 분진이 발생 또는 비산될 수 있다. 각 작업공정마다 사용되는 장비 및 재료, 작업내용 등이 다르기 때문에 근로자들의 분진 노출 정도는 그들이 작업하는 공정에 따라 달라질 수 있다. 분진 노출실태나 역학조사 연구를 위해서 각 작업 공정마다 근로자들의 노출정도를 구분하여 평가할 필요가 있다.

우리나라 석탄광산에 있어서 호흡성분진 및 유리규산 함유율에 대하여 석탄산업합리화 조치 이전 문우기와 조규상(1985), 김한주와 윤임중(1985), 이정주(1986), 국립노동과학연구소 및 백남원(1986)이 몇 차례 조사를 한 바 있으며 석탄산업합리화조치 이후 윤영노 및 정호근(1991), 윤영노 및 김영식(1991), 송세욱(1992) 등이 일부 석탄광산에서 조사를 한 바 있다. 1980년대 이전의 연구들에서 유리규산에 대해 조사된 자료들이 거의 없다. 다만 일부에서 호흡성분진중 유리규산 함유량으로 보고한 논문은 있지만 실제 농도를 산출하여 보고한 자료는 거의 없는 실정이다.

유리규산은 발암성이 높은 물질로 진폐증뿐만 아니라 폐암과 같은 암 유발에도 깊은 관련이 있다. 외국에서는 진폐증과 폐암의 관련성이나 광업 근로자에서 발생하는 폐암을 대상으로 오래 전부터 연구가 이루어지고 있는 반면, 우리나라에서는 1980년대 초까지 간헐적으로 탄광에

종사하는 근로자들을 대상으로 진폐증 유발률 조사를 실시하였으나 광업 종사자들과 진폐증환자들의 폐암 발생에 대해서는 연구가 이루어지지 않았다. 1998년 최초로 최병순 등(1999)이 진폐증과 폐암의 관련성에 관한 연구에 의하면 남성 진폐증자에서의 폐암 발생률이 일반 인구에서보다 1.5 - 3.4배 더 높았다고 보고하였으나 이 연구에서는 진폐증자(광부)의 발암물질 노출력에 대한 자료는 부족하였다.

이와 같이 최근 진폐증 및 폐암 발생에 관한 원인규명을 위해 석탄광산에서 유해물질에 대한 노출평가가 1993년 이후 지금까지 거의 없는 현실에서 과거 노출수준과 현재 노출수준을 비교하고 고찰해볼 필요가 있다. 석탄광산의 기계화 및 현대화로 작업환경 및 근로조건이 과거와 비교해서 어느 정도 개선되었는지 파악하는 것이 필요하리라 본다.

따라서 본 연구는 석탄광산에 종사하는 근로자들을 대상으로 진폐증 및 폐암과 같은 직업병을 예방하고 건강보호를 위한 작업환경 개선에 필요한 기초 자료를 확보하고자 탄광의 주요 유해요인인 분진과 유리규산의 농도 수준을 작업공정별로 평가하기 위해 실시하였다.

II. 대상 및 방법

1. 연구대상

우리나라 석탄광업권이 설정되어 있는 전체 11개 석탄광산 중 지역적 위치, 근로자의 수, 광산의 협조정도 등 조사 현실성을 기준으로 예비조사 결과를 검토하여 2개 석탄광산을 최종 연구대상으로 확정하였다. 점유율이 가장 높은 강원도 삼척시에서 민영탄광 및 대한석탄공사 산하 탄광 1개씩을 선정하였다.

민영탄광인 KD 광업소는 H갱 및 T갱에서 석탄을 채탄하고 있으며 H갱은 다시 2구역으로 나뉘어져 있는데 조사대상이었던 구역은 17° 경사의 사갱으로 막장은 지하 약 400 m, 갱 입구로부터 약 4 km에 위치하고 있으며 갱내 환기는 강제환

기에 의존하고 있다. 갯내 작업공정은 굴진, 채탄, 운반, 보갱 등으로 3교대 작업이 이루어지고 있다. 생산직 근로자수는 대략 800명이었다.

DK는 대한석탄공사 산하 광업소로 3개의 갯에서 채탄하고 있는데 조사대상이었던 갯은 19° 경사의 사갱으로 막장은 지하 약 420m, 갯 입구로부터 약 3.5km에 위치하고 있으며 갯내 환기는 강제환기에 의존하고 있다. 갯내 작업공정은 굴진, 채탄, 운반, 보갱 등으로 3교대 작업이 이루어지고 있으며 생산직 근로자수는 대략 1,000명이었다.

2. 연구내용 및 방법

1) 시료채취

석탄광업에서 근로자들이 가장 많이 노출된다고 알려져 있는 총분진 및 호흡성분진, 결정형 유리규산을 측정하였다.

공기중 이들 물질의 측정은 National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)법 등 국제적으로 공인된 방법을 사용하였다. 근로자의 노출 농도를 파악하기 위해 시료채취기를 근로자의 호흡기 근처(호흡위치)에 부착하여 개인 시료를 채취하였다. 근로자에게 시료채취기를 부착하는 것이 불가능한 경우 가능한 한 근로자의 호흡기와 인접한 위치에 설치하여 지역시료를 채취하였다. 모든 유해인자들의 측정은 공기시료채취기(MSA, Model Escort ELF, U.S.A; 17G9 GilAir Sampler, Gilian Instrument Corp., U.S.A.)를 이용하여 시료를 채취하였으며, 공기시료채취기의 유량은 측정 전후에 전자 유량보정기(The Gilibrator, Gilian, U.S.A.)를 사용하여 보정하였다.

공기중 총분진은 NIOSH 0500 법(NIOSH, 1994a)에 따라 미리 건조기(desiccator)내에서 방치하여 수분을 제거한 Polyvinyl chloride(PVC) 여과지(37-mm dia., 5.0 μ m pore size, Nucleopore, Costar Scientific Corp., U.S.A)에 약 2 L/min의 유량으로 시료를 채취하였으며, 호흡성분진은 NIOSH Method 0600법(NIOSH, 1994b)에 따라 수분을 제거한 PVC 여과

지를 장착시킨 필터 홀더 앞에 10-mm nylon cyclone을 연결하여 1.7 L/min의 유량으로 채취하였다. 공기중 유리규산 시료는 NIOSH Method 7602법(NIOSH, 1994c)에 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.

모든 시료의 채취시간은 대부분 총작업시간 즉, 8시간 작업시간 동안 단일시료 채취방법(full period single samples)을 원칙으로 하였다(NIOSH, 1997). 광산 특성상 개인별 작업내용이 수시로 바뀌며 광산별로 당일 작업시기가 갯외와 갯내에서 달리 행해지는 관계로 입갱시에 공기사료 채취기를 장착한 경우와 갯내에서 작업 투입시 공기사료채취기를 장착한 경우가 있어 포집시간은 각 광산별로 다소 차이가 있었다.

2) 시료분석

총분진 및 호흡성분진의 경우 분진시료가 채취된 여과지를 시료채취전과 동일한 건조기내에서 비슷한 시간동안 방치한 후 화학 천평(Satorius 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.

유리규산의 분석은 먼저 시료가 포집된 여과지를 도가니에 넣고 회화로에서 600°C에서 2 시간 동안 회화한 후 회화된 시료와 potassium bromide(KBr) 250 mg을 균일하게 혼합한 후 프레스로 펠렛(pellet)를 만들었다. 이와 같이 만든 펠렛을 퓨리에 변환적외선분광분석기(fourier transform infrared radiation spectrometer, FTIR, IFS66, BRUKER Corp., German)로 결정형 유리규산을 분석하였다. 표준시료는 α -quartz(NIST)를 KBr로써 단계적으로 희석하여 여러 수준으로 만들어 분석한 후 검량선을 작성하였다.

3) 자료분석

분진 및 유리규산 자료의 대표값과 산포도는 각각 기하평균(geometric mean, GM)과 기하표준편차(geometric standard deviation, GSD)로 표현하였다. 각 물질의 농도가 두 업체간 및 작업공정별로 차이가 있는지 검증하기 위해 분산분석 및 다중비교분석을 수행하였다. 자료의 통계분석을 위해 SAS System, Release 6.12(SAS Institute Inc.)를 사용하였다.

각 물질의 농도는 노동부 노출기준, ACGIH의 TLV(ACGIH, 2001), OSHA의 PEL(OSHA, 1994) 또는 NIOSH의 Recommended Exposure Limit(REL)(NIOSH, 1992)에 근거하여 평가하였다.

III. 연구결과

1. 공기중 총분진, 호흡성분진, 유리규산 농도 분포

광업소별 공기중 총분진, 호흡성분진 및 결정형 유리규산의 평균 농도는 Table 1과 같다. 공기중 총분진 농도는 석탄광산 2개소의 평균농도가 18.9 mg/m³로 노동부의 노출기준 5 mg/m³을 3배 이상 초과하는 높은 수준이었고 최고 농도는 331.6 mg/m³로 노동부 노출기준보다 66배 이상 높았다. 두 개 석탄 광산에서 업체에 따른 농도 차이는 유의하지 않았다($p>0.05$).

탄광에서의 공기중 호흡성분진 농도도 총분진의 경우와 마찬가지로 높은 편이었다. 호흡성분진 농도는 평균 5.14 mg/m³로 노동부 노출기준 2mg/m³과 NIOSH 기준 2 mg/m³을 각각 2배 이상 초과하였고 최고 농도는 213.2 mg/m³로 노동부 기준의 106배 이상이었다. 두 탄광의 호흡성분진 농도 역시 업체간 유의한 차이는 없었다($p>0.05$).

공기중 총분진과 호흡성분진 농도 자료는 큰 변이를 보이고 있었다. 석탄광산의 총분진과 호흡성분진의 농도 분포는 Figure 1에서 보듯이 넓은 범위에 걸쳐 있었다.

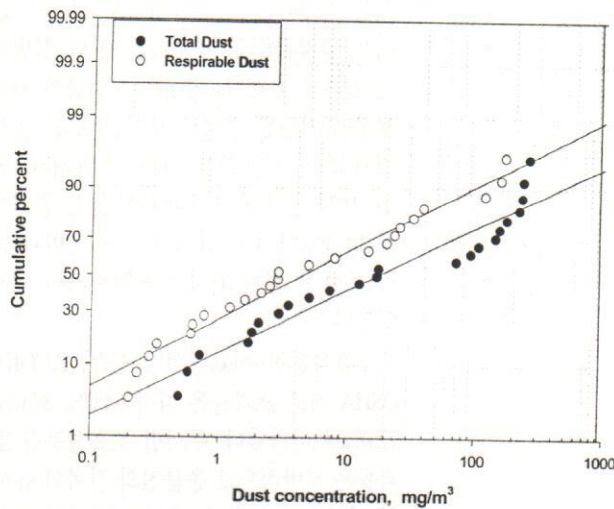


Figure 1. Distribution of total and respirable dust concentrations in air

탄광에서의 총유리규산(total free silica) 및 호흡성 유리규산(respirable free silica)의 농도는 각각 0.13 및 0.05 mg/m³로 나타났다. 호흡성 유리규산의 평균농도는 노동부기준 (0.1 mg/m³) 보다 낮았으며 ACGIH 및 NIOSH 기준(0.05 mg/m³)에 해당하는 수준이었다. 개별시료의 경우 노동부, ACGIH 또는 NIOSH 노출기준을 초과하는 시료가 있었다. 업체에 따른 농도는 유의한 차이가 없었다($p>0.05$).

2. 공정별 총분진, 호흡성분진 및 유리규산 농도 분포

석탄광산 2개 업체의 전체 작업공정별 총분진, 호흡성분진, 유리규산 농도는 Table 2 및 Figure 2와 같다.

Table 1. Airborne dust and crystalline silica concentrations by mine

Coal mines	Total dust conc. (mg/m ³)	Respirable dust conc.(mg/m ³)	Crystalline SiO ₂ conc.(mg/m ³)	
			Total	Respirable
KD	16.3 ^a (10.0) ^b N=13	5.19(15.4) N=13	0.15(1.54) N=2	0.046(3.9) N=13(ND=1) ^c
DK	22.7(9.7) N=11	3.96(5.0) N=12	0.010(45.2) N=3(ND=1)	0.046(4.0) N=12(ND=1)
Total	18.9(9.4) 0.49-331.6 N=24	5.14(9.1) 0.20 - 213.2 N=25	0.13(15.1) <0.001 - 2.2 N=5(ND=1)	0.050(4.2) <0.001 - 0.45 N=25(ND=2)

^a Geometric mean(GM)

^b Geometric standard deviation(GSD),

^c Number of samples not detected(limit of detection = 1 µg/sample)

Table 2. Airborne dust and crystalline silica concentrations by job or process

Operation	Total dust conc. (mg/m ³)	Respirable dust conc.(mg/m ³)	Crystalline SiO ₂ conc.(mg/m ³)	
			Total	Respirable
Rock drilling	5.96 ^a (4.1) ^b N=5	1.37(3.3) N=8	0.21(1.1) N=2	0.054(1.5) N=8
Coal face	180.4(1.5) N=10	37.7(2.3) N=8	2.16 N=1	0.027(10.7) N=8(ND=2) ^c
Transportation	1.70(5.2) N=4	0.59(3.0) N=4	0.11 N=1	0.024(2.8) N=4
Beam construction	7.32(3.4) N=3	22.7(39.4) N=3	-	0.17(5.3) N=3
Loading/ transportation	2.28(5.2) N=2	2.89(1.0) N=2	ND N=1(ND=1)	0.16(1.1) N=2

^a Geometric mean(GM)

^b Geometric standard deviation(GSD),

^c Number of samples not detected(limit of detection = 1 µg/sample)

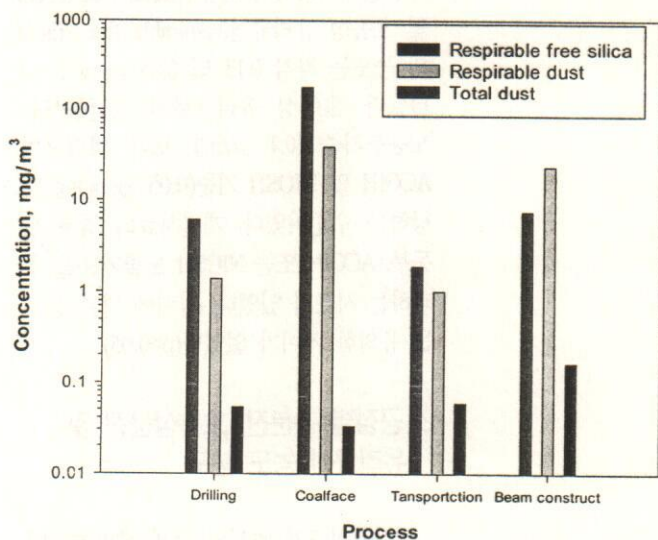


Figure 2. Airborne dust and respirable crystalline silica concentrations by process.

총분진 농도가 가장 높은 공정은 평균 농도가 180.4 mg/m³인 채탄(coal face) 공정으로 나타났고 다음으로 보갱(bean construct)(7.32 mg/m³) > 굴진(rock drilling)(5.96 mg/m³) > 적재/운반(loading/transportation)(2.28 mg/m³) > 운반(transportation)(1.70 mg/m³) 순이었다. 채탄 공정의 농도는 다른 부서에 비해 현저하게 높은 것으로 나타났다($p < 0.05$). 채탄 공정의 부서의 경우 보갱과 굴진 공정이 운반, 적재 공정에 비해 농도가 높은 경향을 보이거나 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p > 0$).

호흡성분진 농도가 높은 공정은 채탄(37.7 mg/m³) > 보갱(22.7 mg/m³) > 적재/운반(2.89 mg/m³), 굴진(1.37 mg/m³), 운반(0.59 mg/m³) 순으로 총분진과는 다른 경향을 보이고 있었다. 채탄과 보갱은 호흡성분진 농도가 높은 군으로, 이외 다른 공정은 농도가 낮은 군으로 나뉘어지는 양상을 보이고 있었다. 채탄과 보갱 공정의 호흡성분진 농도는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$).

공정에 따른 총유리규산 농도 차이는 시료수가 작고 검출한계 미만인 시료가 많아 모든 작업공간 비교가 불가능하였다. 한편, 호흡성 유리규산 농도는 굴진 공정에서 가장 높게 나타나 호흡성분진과는 다른 양상이었다. 이것은 굴진 공

에서의 분진중 유리규산 함량이 높기 때문에 나타난 결과로 보여진다. 굴진 공정에서는 암석을 파괴할 때 유리규산의 함량이 높은 암석분진이 발생하나 다른 공정에서는 석탄분진이 주로 발생된다.

3. 노출기준 초과율

업체별 및 작업공정별 분진 및 유리규산 농도의 노동부, ACGIH, OSHA 노출기준 초과율은 Table 3에서 보는 바와 같다.

탄광 2개소의 총분진 시료 24개중 노동부 노출기준을 초과하는 시료수 및 비율은 16개(66.7%)로 나타났다. ACGIH 및 OSHA에서는 석탄분진에 대한 총분진 노출기준은 규정하지 않았고 호흡성분진 노출기준만 설정하고 있다.

석탄광산 2개소의 총분진 농도는 통계적으로 큰 차이가 없었으며 노출기준 초과율도 서로 비슷한 수준이었다. KD 광업소 및 DK 광업소에서의 노동부의 총분진 노출기준 초과율은 각각 61.5% 및 72.7%이었다. 두 업체 모두 채탄 공정에서 채취한 모든 시료가 노출기준을 초과하였다. 그러나 굴진과 보갱작업은 업체에 따라 다른 양상을 보였다. 즉, 한 업체(KD)의 경우 보갱 공정에서 모든 시료가 노동부 노출기준을 초과하나 굴진 공정에

서는 초과하는 시료가 하나도 없는 반면, 다른 업체(DK)의 경우에는 이와 상반되는 결과를 보였다. 이것은 작업량의 차이로부터 기인된 결과로 보여진다. 본 조사 결과 운반을 제외한 다른 공정(채탄, 굴진, 보갱)은 총분진 초과율이 높은 공정으로 나타났다. DK 업체의 경우 운반과 운반/적재 두 공정의 자료를 통합하여 제시하였다.

호흡성분진 시료에서 노동부, ACGIH, OSHA 기준 초과율은 각각 64.0%, 84.0%, 72.0%로 나타났다. 부서별 호흡성분진 초과율은 전반적으로 총분진의 결과와 유사한 양상을 보였으나, 운반 공정에서는 호흡성분진의 노출기준 초과율이 더 높았다. 세 가지 평가결과중 ACGIH 기준에 근거한 초과율이 가장 높아 이 기준이 가장 엄격함을 알 수 있었다.

호흡성 유리규산의 경우 채취한 전체시료 25 개중 노동부 노출기준을 초과하는 시료수는 7개(28.0%), ACGIH TLV를 초과하는 시료수는 15개(60%), OSHA PEL의 초과수는 18개(72.0%)로 나타났다. 세 가지 평가결과중 OSHA 기준에 근거한 초과율이 가장 높았다. 노동부 노출기준에 근거한 기준 초과율은 다른 기관의 값에 비해 1/2 배 이상 낮게 나타났다. 노동부는 호흡성 유리규산에 대한 노출기준을 0.1 mg/m³로 ACGIH TLV의 기준인 0.05 mg/m³ 보다 2배 높게 설정하고 있다. 호흡성 탄분진에 대한 두 기관의 기준도 마찬가지로 2배 차이가 난다. ACGIH TLV에 대한 기준 초과율은 OSHA PEL의 경우보다 낮았으나 큰 차이는 없었다.

4. 분진중 유리규산 함량

두 업체별 및 작업공정별 공기중에서 채취한 총분진 및 호흡성분진중 결정형의 유리규산 함량은 Table 4에서 보는 바와 같다. 전체 시료에서 총분진중 유리규산 함량은 $3.3 \pm 4.4\%$, 호흡성분진 중에는 $3.8 \pm 4.7\%$ 로 나타났다.

Table 3. Number of total dust, respirable dust and respirable free silica samples exceeding the occupational exposure limits by process

Mine / process		Number of samples exceeding the occupational exposure limits(%)								
		Korean standard ^a			ACGIH's TLV ^b			OSHA's PEL ^c		
		Total dust	Respirable dust	Silica ^d	Total dust	Respirable dust	Silica ^d	Total dust	Respirable dust	Silica ^d
KD	Rock drilling	0	1(25.0)	0	- ^e	2(50.0)	1(25.0)	-	1(25.0)	1(25.0)
	Transportation	1(33.3)	1(33.3)	1(33.3)	-	2(66.7)	1(33.3)	-	1(33.3)	1(33.3)
	Beam construction	2(100)	2(100)	2(100)	-	2(100)	2(100)	-	2(100)	2(100)
	Coal face	5(100)	4(100)	1(25.0)	-	4(100)	3(75.0)	-	4(100)	4(100)
	Total	8(61.5)	8(61.5)	4(30.8)	-	11(84.6)	7(53.8)	-	8(61.5)	8(61.5)
DK	Rock drilling	2(100)	2(50.0)	0	-	4(100)	3(75.0)	-	4(100)	4(100)
	Transportation	1(33.3)	2(66.7)	2(66.7)	-	2(66.7)	2(66.7)	-	2(66.7)	2(66.7)
	Beam construct	0	0	0	-	0	0	-	0	0
	Coal face	5(100)	4(100)	1(25.0)	-	4(100)	3(75.0)	-	4(100)	4(100)
	Total	8(72.7)	8(66.7)	3(25.0)	-	10(83.3)	8(66.7)	-	10(83.3)	10(83.3)
Total		16(66.7) (N=24)	16(64.0) (N=25)	7(28.0) (N=25)	-	21(84.0) (N=25)	15(60.0) (N=25)	-	18(72.0) (N=25)	18(72.0) (N=25)

^a Korean standards :

Total dust(coal dust) - 5 mg/m³, Respirable dust(coal dust) - 2 mg/m³

Silica(crystalline, quartz) - 0.1 mg/m³

^b ACGIH's TLVs :

Total dust(coal dust) - Not established, Respirable dust(coal dust,anthracite) - 0.4 mg/m³

Silica(crystalline, quartz) - 0.05 mg/m³(respirable)

^c OSHA's PELs :

Total dust(coal dust) - Not established

Respirable dust(coal dust) - 2.4 mg/m³(<5% SiO₂), 10/(% silica+2) mg/m³(>5% SiO₂)

Silica(crystalline, Quartz) : 30/(% silica+2) mg/m³(total), 10/(% SiO₂+2) mg/m³(respirable)

^d Respirable crystalline silica

^e Not applicable

Table 4. Crystalline silica content in airborne dust

Process	Content of SiO ₂ in airborne dust(%)	
	Total dust	Respirable dust
Rock drilling	0.42 - 9.76 (N=2)	6.3 ± 6.7 (N=8)
Beam construction	-	2.6 ± 4.2 (N=3)
Coal face	2.36 (N=1)	0.39 ± 0.30 (N=6)
Loading, transportation	0.61 (N=1)	4.7 ± 1.4 (N=6)
Total	3.3 ± 4.4 (N=4)	3.8 ± 4.7 (N=23)

호흡성분진중 유리규산 함량은 굴진 6.3%, 적재/운반 4.7%, 보깅 2.6%, 채탄 0.39% 순이었다. 동일 공정 내에서도 자료간 변이가 컸으며 최대값은 굴진 공정에서 채취된 호흡성분진에서 나타난 21.8%이었다.

IV. 고 찰

광업중 석탄광업은 석탄분진 등 여러 가지 특수한 조건으로 인해 다른 광산업에 비해 재해율 및 진폐증 발생률이 높은 편이다. 광산업에 종사하는 근로자들을 대상으로 진폐건강진단 결과를 살펴보면 직업병 유소견자의 세부질환별 분포에서 진폐증이 90.8%, 소음성 난청이 9.2%로 우리나라 전체 업종별 근로자 건강진단에서 소음성 난청이 가장 높은 반면 광산업 종사 근로자들에게서는 진폐증 유소견자가 대부분이다(노동부, 2000).

광업에서 발생하는 진폐증 중에서도 석탄광업 근로자에서 발생하는 탄광부 진폐증이 대다수인 것으로 알려져 있다(최병순, 1996). 탄광부 진폐증은 폐에 침착된 석탄 분진으로 인해 조직반응이 일어나 발생하는 것이므로 탄광부 진폐증이 발생하기까지의 호흡성분진 노출량이 중요한데, 특히 분진 속의 유리규산이 탄광부 진폐증의 발생 및 진행에 더 중요한 역할을 한다는 보고가 있다(Martin et al., 1972).

본 연구의 석탄광산 2개소에서 측정한 총분진 및 호흡성분진의 전체평균은 각각 18.9, 5.14 mg/m³로 노동부와 ACGIH 노출기준을 초과하였고, 각 물질의 최고농도는 총분진 331.6 mg/m³, 호흡성분진 213.2 mg/m³로 노동부 기준을 각각 60배 및 100배 이상 초과하는 심각한 상태이었다. 호흡성 유리규산의 경우 평균농도는 0.05 mg/m³로 노동부 기준(0.1 mg/m³)보다 낮았으나 ACGIH 및 NIOSH 기준(0.05 mg/m³)에 해당하는 수준이었다. 개별시료에 대해 평가한 결과, 채취한 시료 25개중 7개(28%)가 노동부 기준을 초과하고 15개(60%)는 ACGIH TLV를 초과하였다.

석탄광산에서 작업공정별 총분진의 경

우 노동부 노동과학연구소와 백남원(1986)은 채탄공정과 굴진 공정에서 각각 평균 13.3, 10.8 mg/m³로 보고하였다. 본 연구결과와 비교해 볼 때, 채탄 공정에서는 본 연구결과(180.4 mg/m³)가 10배 이상 높으며, 굴진 공정에서는 본 연구결과(5.96 mg/m³)가 1/2 정도 낮은 결과를 보였다.

석탄분진중 호흡성분진을 채탄, 굴진, 운반 공정별로 살펴보면, 채탄 공정의 경우 과거 노동부 국립노동과학연구소와 백남원(1986), 송세욱(1993), 윤영노와 정호근(1991), 윤영노와 이정주(1988), 최호춘(1987) 등이 각각 8.47, 3.97 - 7.28, 5.25, 8.3, 2.55(태백), 4.24(강릉) mg/m³로 보고하고 있다. 채탄공정에서 조사된 본 연구결과(37.7 mg/m³)는 이들 연구결과들에 비해 대략 4 - 15배 가량 높게 나타났다. 굴진 공정에서 호흡성분진 농도는 지금까지의 연구자들의 조사결과 각각 3.73, 0.4 - 1.27, 2.40, 2.8, 1.34(태백), 2.44(강릉) mg/m³로 보고되었다. 본 연구결과(1.37 mg/m³)는 이들 연구결과들과 유사하거나 조금 낮은 수준이었다. 운반 공정에서 호흡성분진의 농도는 송세욱(1993)이 0.63 mg/m³, 윤영노와 정호근(1991)이 1.82 mg/m³, 윤영노와 이정주(1988)가 1.8 mg/m³로 보고한 바 있다. 운반공정에서 본 연구결과(0.59 mg/m³)는 이들 연구결과 보다 대체로 낮은 수준이었다. 이것으로 미루어 보아 석탄 광산의 작업환경은 굴진 및 운반 공정에서는 과거에 비해 조금 개선되었으나, 채탄 공정은 과거에 비해 전혀 개선되지 않았고 오히려 더욱 악화된 상태였다. 이와 같은 결과는 석탄 수요의 감소와 석탄산업이 침체됨에 따라 광업 종사자의 건강보호와 작업환경관리에 소홀한데서 기인한 것으로 여겨진다.

본 연구에서는 석탄 광산의 호흡성분진에 함유된 유리규산 함량은 굴진 공정에서 평균 6.3%, 채탄공정에서 0.39%로 나타났다. 굴진 공정의 경우 송세욱(1993)이 발표한 유리규산 함량(7.3%)과 거의 비슷하였으나 채탄 공정의 경우 이 연구자가 보고한 결과(1.98%)보다 낮게 나타났다. 노동부 국립노동과학연구소와 백남원(1986)이 보고한 연구결과를 보면 굴진 공

정에서 발생한 분진중 유리규산 함유량(6.48%)은 본 연구결과와 비슷하였으나, 채탄 공정 분진중 함유량(3.15%)은 본 연구결과 보다 높게 나타났다. 이 외 윤영노와 이정주(1988)는 굴진 공정과 채탄 공정에서 각각 2.9%, 0.6%로, 최호춘 등(1987)은 굴진과 채탄 공정에서 태백지역은 4.24%, 1.39%, 강릉지역은 2.55%, 1.24%로 보고하였다. 이들 연구결과 역시 본 연구결과 보다 채탄 공정의 경우는 높았지만 굴진 공정의 경우 낮았다.

이와 같이 작업공정별로 분진 및 유리규산 농도가 차이가 나는 원인으로는 공정별로 작업내용이 다르고 사용되는 장비 및 재료 등이 다르기 때문이다. 굴진 공정의 경우 대개 습식착암방식이고 암반이 습윤된 상태로 발파되기 때문에 분진이 비교적 적게 발생되었던 것으로 판단된다. 유리규산은 주로 굴진 공정에서 이루어지는 암석의 발파시 발생하는 암석분진(rock dust)에 많이 포함되어 있기 때문에 다른 공정보다 높은 분포를 보인다. 채탄 공정은 비록 습식의 착암기 및 드릴과 같은 기계적인 작업이 있지만, 직접 근로자들이 삽이나 곡괭이 같은 도구를 이용하여 작업을 하거나 탄처리를 위해 컨베이어 및 슈트(chute)에 탄을 적재할 때 분진이 많이 발생하기에 다른 공정보다 높은 농도 분포를 보인다. 운반 공정은 일반적으로 굴진이나 채탄막장에서 컨베이어로 이송된 탄을 광차에 적재하고 적재된 탄을 축전차 또는 전차를 이용하여 갱외로 이송하는 작업으로 운반되는 갱도는 다른 막장보다 공기 유속이 원활하여 쉽게 희석되므로 분진발생이 상대적으로 다른 공정보다 낮은 것으로 판단된다.

본 연구결과, 석탄분진(호흡성)의 노동부 노출기준은 다른 기관의 기준보다 높게 설정되어 있어 초과율은 다소 낮게 나타났다. 유리규산 역시 노동부 노출기준이 다른 기관의 기준보다 높아 초과율이 훨씬 낮게 나타났다.

유리규산은 발암물질이며 규폐증의 원인으로 알려져 있다. 광산에는 유리규산의 원천인 암석이 많이 분포하고 있고 그 함량에도 큰 차이가 있을 것이다. 유리

규산의 노출에 관한 자료는 여러 가지 측면에서 필요한데, 유리규산에 의한 건강장해를 예방하기 위해 노출평가 및 관리를 수행할 때 이용하는 노출기준은 타당한 근거를 가지고 있어야 한다. 앞에서 지적하였듯이 노동부 노출기준은 여러 다른 기관보다 높게 설정되어 있기 때문에 실제 노출평가 결과는 차이가 크게 나타났다. 그러므로 우리나라 노출기준에 관한 검토가 요망된다.

본 연구결과 탄광에서 분진노출에 의한 건강위험은 채탄, 보갱 업무에 종사하는 근로자가 높은 것으로 나타났다. 이들 부서의 평균 호흡성분진 노출농도는 22.7 - 37.7 mg/m³로 다른 근로자의 분진 노출농도 0.59 - 2.89 mg/m³에 비해 훨씬 높은 수준이었다. 밀폐도가 큰 막장에서는 고열이 발생되고 있어 이들은 고열에도 노출되고 있는 상태였다. 가장 큰 위험에 놓여 있는 채탄, 보갱 작업자에 대해서는 우선적이고 집중적인 대책이 요망된다. 공학적 대책, 근로자개인 보호대책 등 위험요인 노출을 감소시키기 위한 개선방안을 강구해야 할 것이다.

V. 결 론

국내 11개 석탄광산중 생산량이 많은 삼척지역 소재 2개 탄광을 대상으로 공정별로 근로자의 총분진, 호흡성분진, 유리규산 노출 농도를 평가한 결과는 다음과 같다.

1. 조사대상 탄광의 총분진 평균 농도는 18.9 mg/m³로 우리나라 노출기준을 훨씬 초과하고 탄광간에 유의한 농도 차이는 없었다($p>0.05$). 공정별 총분진 농도는 채탄 180.4 mg/m³, 보갱 7.32 mg/m³, 굴진 5.96 mg/m³, 적재/운반 2.28 mg/m³, 운반 1.70 mg/m³ 순이었다. 채탄공정은 농도는 다른 공정에 비해 유의하게 높은 수준이었다($p<0.05$).

2. 두 탄광의 호흡성분진 평균 농도는 5.14 mg/m³으로 노출기준을 초과하는 수준이었고 탄광간 유의한 농도 차이는 없었다($p>0.05$). 공정별 농도는 채탄 37.7 mg/

m³, 보갱 22.7 mg/m³, 적재/운반 2.89 mg/m³, 굴진 1.37 mg/m³, 운반 0.59 mg/m³ 순이었으며 유의한 차이가 있었다($p<0.05$). 채탄과 보갱공정의 농도는 다른 공정에 비해 현저하게 높았으며 우선적인 대책이 필요하였다.

3. 총 유리규산 농도는 평균 0.13 mg/m³이고 호흡성 유리규산 농도는 평균 0.05 mg/m³이었다. 호흡성분진중 유리규산 함량은 평균 3.8%이고 공정별로 굴진 6.3%, 적재/운반 4.7%, 보갱 2.6%, 채탄 0.39%이었다.

4. 총분진의 경우 전체 시료의 66.7%가 고 우리나라 노출기준을 초과하였고 채탄 공정시료는 모두 이 기준을 초과하였다.

5. 전체 호흡성분진 시료중 우리나라 노출기준, ACGIH TLV, OSHA PEL을 초과한 시료의 비율은 각각 64%, 84% 및 72%이었다. 채탄공정의 호흡성분진 전체 시료가 위의 세 기준을 모두 초과하였다.

6. 호흡성 유리규산 전체 시료중 우리나라 노출기준, ACGIH TLV, OSHA PEL을 초과한 시료의 비율은 각각 28%, 60%, 및 72%이었다.

7. 국내 석탄광업은 사양산업이기 때문에 탄광 근로자들의 직업병 예방을 위한 관심과 대책이 소홀한 실정이다. 현재 탄광의 분진 및 유리규산 농도로 미루어 보아 진폐발생 예방을 위한 대책이 필요하다고 판단된다.

감사의 글

논문 교정에 도움을 준 인제대학교 보건안전공학과 김선자, 김향순 양에게 감사사를 드립니다.

REFERENCES

- 국립노동과학연구소, 백남원. 분진작업장 유해환경조사연구. 연보 43호(86-5호), 노동부, 국립노동과학연구소; 1986.
- 김한주, 윤임중. 일부 탄광지역 굴진 막장의 분진상태와 굴진부 진폐증의 유병율에 대한 역학적 조사. 가톨릭대학교 의학부 논문집 1985;38(4):975-985
- 노동부. 화학물질 및 물리적인자의 노출 기준. 노동부 고시 제97-65호, 노동부; 1998.
- 노동부. 1999년 근로자 건강진단 실시결과. 노동부; 2000.
- 대한석탄공사. 국내석탄광산, 2000. Available from: URL: <http://www.kocoal.or.kr>
- 문우기, 조규상. 한국 채탄 광부의 진폐증 발생에 관한 역학적 연구. 가톨릭대학교 의학부 논문집 1985;38(4):951-961
- 송세옥. 일부 석탄광산의 공정별 호흡성분진 및 유리규산의 폭로 농도 가톨릭대학교 산업보건대학원 보건학석사 학위논문. 가톨릭대학교; 1993.
- 윤영노, 이정주. 태백지역 석탄광산의 호흡성 분진 폭로 농도. 한국대기보전학회지 1988;4(1): 23-32
- 윤영노, 정호근. 태백지역 석탄광산의 작업부서별 호흡성 분진 폭로농도. 한국산업위생학회지 1991; 1(1):47-55
- 윤영노, 김영식. 일부 석탄광산 기중 부유분진의 입경 분포와 호흡성 분진 비율. 한국산업위생학회지 1991;1(1):62-67
- 이정주. 석탄광산의 호흡성 분진 특성에 관한 연구 -영동지역을 중심으로-. 서울시립대학교 대학원 석사학위논문, 서울시립대학교; 1986.
- 최병순. 한국의 석탄광업에서 발생한 진폐증의 실태-발생에 관여하는 요인 및 발생률-. 대한산업의학회지 1996; 8(1):137-152
- 최병순 최정근, 김성진, 임영, 고재욱 등. 진폐근로자에서 발생한 진폐증과 폐암의 관련성. 동국대학교 의과대학; 1999.
- 최호준, 천용희, 윤영노, 김해정. 태백 및 강릉지역 석탄광의 호흡성 분진과 석영농도에 관한 조사. 예방의학회지 1987;20(2):261-269
- American Conference of Governmental Industrial Hygienist(ACGIH). Threshold

- Limit Values for Chemical and Physical Agents, and Biological Exposure Indices. Cincinnati Ohio: ACGIH; 2001.
- International Agency for Research on Cancer(IARC). Overall Evaluations of Carcinogenicity to Humans. As evaluated in IARC Monographs Vol. 1-77, Lyons, France: IARC, 2001. Available from: URL:<http://193.51.164.11/monoeval/crthall.html>
- Martin JC, Moussard D, Bouffant LL, Policard A. The role of quartz in the development of coal workers' pneumoconiosis. Ann. NY Acad Sci. 1972; 200:127-141
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH). Occupational Exposure Sampling Strategy Manual. Cincinnati, Ohio: NIOSH; 1977.
- 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. Cincinnati, Ohio: NIOSH; 1994a.
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH). Particulates Not Otherwise Regulated, Respirable(Method 0600). In NIOSH Manual of Analytical Method(NMAM), 4th ed. DHHS(NIOSH) Pub. No. 94-113, Cincinnati, Ohio: NIOSH; 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, Cincinnati, Ohio: NIOSH; 1994c.
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH). NIOSH Recommendations for Occupational Safety and Health. Compendium of Policy Document and Statements. Cincinnati, Ohio: NIOSH; 1992. p.63-64.
- Occupational Safety and Health Administration(OSHA): 29 CFR Part 1910. 1000, Air Contaminants, Final Rule, Permissible Exposure Limits, New York, Washington, DC: OSHA; 1994.