

# 유리규산 노출기준의 설정

노영만 · 김윤신 · 김현옥<sup>‡1)</sup>

한양대학교 환경 및 산업의학연구소 · 가톨릭대학교 의과대학 예방의학교실<sup>1)</sup>

## The Establishment of Occupational Exposure Level for Free Silica

Young-Man Roh · Yoon-Shin Kim · Hyun-Wook Kim<sup>1)‡</sup>

*Institute of Environmental and Industrial Medicine, Hanyang University ·  
Dept. of Preventive Medicine, College of Medicine, Catholic University<sup>1)</sup>*

In Korea, many institutes for work environment measurements are not simultaneously performing the sampling of respirable dust and the quantitative analysis of crystalline silica content. Exposure evaluation of free silica is not properly accomplished because of applying the occupational exposure level(OEL) of total dust based on the general method. This study was performed to grasp the exposure status of silica, to compare the OELs of foreign countries, and to establish the OEL for free silica.

Based on the results of this review, it is suggested that respirable fraction of airborne dust be sampled and subsequently analysed for crystalline silica content. And the OEL be set at 0.05 mg/m<sup>3</sup> for quartz, cristobalite, and tridymite.

**Key Words**: free silica, occupational exposure level, respirable dust, quartz

## I. 서 론

제조업 근로자 약 280만명 중에서 분진 노출 근로자는 약 15만명으로 집계되고 있으며, 진폐증이 과거에는 석탄광업에서 발생률이 높았지만 1988년 정부의 석탄합리화정책으로 석탄광업 근로자는 점차 감소하는 반면, 이들 제조업에서의 진폐증이 차지하는 비율이 점차 증가하여 유해부서 특수건강진단상 진폐증 환자중 비광

업 진폐증이 차지하는 비율이 증가하고 있는 실정이다(이원철 등, 1997). 1994년 제조업에서 발생한 진폐증에 대한 보고를 보면 금속제품 제조업에서 가장 많은 진폐증 발생건수를 보이고 있으며, 1995년 전국 사업장을 대상으로 한 작업환경측정 결과 분진의 허용농도 초과율은 제 1차 금속산업의 경우 33.2 %로 매우 높은 수준을 보이고 있다(작업환경측정 기술협의회, 1995). 이에 산업안전보건법에서는 진

폐증 예방을 위해 분진발생 작업장에 대한 작업환경측정을 통해 유해정도를 평가토록 규정하고 있으며, 그 평가기준으로 사용되는 유해물질의 허용농도에서도 유리규산의 함유량에 따라 총분진을 제 1, 2, 3종 분진으로 분류하여 허용농도를 달리 정하고 있으며, 호흡성분진으로서 결정형 규산의 경우 석영은 0.1 mg/m<sup>3</sup>, 크리스토파라이트는 0.05 mg/m<sup>3</sup>, 트리디마이트는 0.05 mg/m<sup>3</sup>으로 허용농도를 규정하고 있다(노동부, 2002). 미국산업위생전문가협회(ACGIH)의 경우는 석영에 대하여 1999년부터 0.1mg/m<sup>3</sup>을 0.05mg/m<sup>3</sup>로 낮추어 적용하고 있으며(ACGIH, 2002),

\* 이 연구는 2002년 한국산업안전보건연구원의 연구용역사업의 일환으로 연구된 결과임  
접수일: 2004년 7월 6일, 채택일: 2004년 8월 18일

‡ 교신저자: 김현옥(서울시 서초구 반포동 가톨릭대학교 의과대학 예방의학교실)

Tel : 02-590-1237, E-mail : hwkim@catholic.ac.kr

미국산업안전보건청(OSHA)에서는 석영의 경우  $10/(\%SiO_2+2) \text{ mg/m}^3$ , 크리스토파라이트와 트리디마이트는  $10/(\%SiO_2+2) \text{ mg/m}^3$ 의 1/2로 적용하며, 혼합물일 경우는  $10/((\%quartz)+2(\%crystalite))+2(\%tridymite)+2) \text{ mg/m}^3$ 로 정하고 있다(U.S. Department of Labor, 1996).

그러나 현재 작업환경측정기관에서 결정형 규산의 성분별 정량분석과 호흡성분진의 측정이 동시에 이루어지지 않고 있으며, 대부분 중량분석법 또는 상대농도법으로 결과를 측정하여 총 분진의 허용농도에 적용하고 있다(작업환경측정 기술협의회, 1995). 또한 고온작업에서 주물분진은 결정형 규산이 형성되므로 이에 대한 노출평가는 결정형 규산의 종류별 기중 농도를 근거로 하여야 하나 노동부 허용기준 규정에는 이에 대한 언급이 없다(노동부, 1994b). 그리고 일부 연구에서도 유리규산이 함유된 분진을 총 분진의 중량분석으로 평가하였고(김병수 등, 1986) 호흡성분진에 관한 조사도 일부 이루어져 왔으나(김희만과 김돈균, 1993) 성분에 대한 분석이 이루어지지 않았으며, 성분에 관한 분석연구는 유리규산의 함유율이 5% 미만인 석탄광업을 대상으로 실시되었다(최호준 등, 1987; 윤영노와 김영식, 1991; 윤영노와 정호근, 1991; 송세욱과 이광목, 1994).

그러므로 규폐증의 예방과 주물사업장 및 유리규산이 발생하는 작업장에서 일하는 근로자의 건강보호를 위해서는 노동부 고시로 제시되어 있는 1종, 2종, 3종 분진에 있어 유리규산 함량에 따른 노출기준을 삭제하고 각 유리규산의 농도에 근거한 노출기준으로 작업장을 관리하고 근로자의 건강을 보호하는 것이 필요하다.

따라서 본 연구의 목적은 국내외 유리규산의 노출실태를 파악하고, 국가별 노출기준과 노출기준의 설정근거를 검토하여, 국내의 유리규산 노출작업자의 건강을 보호할 수 있는 노출기준에 대한 수준을 제안하고자 한다.

## II. 사용과 노출실태

유리규산의 발생은 주로 석탄 광업, 구조도, 주물, 요업, 석재 등과 같이 작업공정에서 먼지와 같은 형태로 발생된다. 이들 작업공정에서는 주원료의 형태가 다양하여 사용량에 대한 정보를 입수하기가 매우 어렵고, 공기중 먼지의 성분에 대한 정보는 시료를 분석하기 전에는 알 수가 없다. 제조업에서 진폐증이 발생할 수 있는 주요업종에 대하여 각 공정 및 먼지농도는 표 1과 같다. 또한 국내의 각 업종별, 공정별 유리규산 농도 및 유리규산 함유분진 농도에 대한 분포를 표 2에 제시하였다. 표 3에서는 여러 나라에서 화강암 채석 가공 산업과 분쇄된 돌과 관련된 산업에서의 결정형실리카의 작업환경 노출 결과를 요약하였다. 표 4에서는 여러 나라의 주물공장에서 결정형실리카의 직업별 노출을 수록하였으며, 표 5에서는 여러 나라의 세라믹 산업에서 결정형실리카의 직업별 노출농도를 정리하였다.

## III. 국가별 노출기준 요약

### 1. 일본

일본의 허용농도의 제정은 처음에는 규폐 대책위원회의 허용농도 전문위원회가 허용농도수치를 처음 발표하였으며, 그 후에는 일본 산업위생학회가 매년 총회를 거쳐서 허용농도나 허용기준 등의 권고를 하고 있다. 그리고 이 권고에서는 분진의 측정법에 관해서도 규정하고 있으며, 이 허용농도의 권고는 행정업무와는 무관한 관계로 행하여지고 있으나 노동성에서는 분진의 억제목표로 이 수치를 채용하고 있는 실정이다.

따라서 산업위생학회의 권고기준을 1981년부터 분진작업장의 평가기준으로 사용하였으나, 1984년 노동성의 관리농도 제정에 따라 행정관리 목적으로 관리농도가 사용되고 있다.

#### 1) 산업위생학회에서 권고하고 있는 분진의 허용농도

○ 유리규산이 광물 중에 10%이상 함

유하고 있어서 이러한 광물을 취급할 때에는 호흡성 분진(Respirable dust) 과 총 분진(Total dust)으로 나누어 다음 식에 의하여 계산한다.

- 호흡성 분진(R)

$$M = 2.9 / 0.22Q + 1 \text{ mg/m}^3$$

- 총 분진(T)

$$M = 12 / 0.23Q + 1 \text{ mg/m}^3$$

※ 여기서 M은 허용농도, Q는 분진 중의 유리규산 함유율(%)

- 포집기의 입구에서의 유속은 50~80 cm/sec로 하여 포집 한 분진을 총 분진이라 하고, 분립특성을 갖는 분립장치를 통과한 입자를 흡입성 분진이라 한다

※ 흡입성 분진 : 아래에 표시한 분립특성을 갖는 분립장치를 통과한 입자를 흡입성 분진으로 한다.

$$P = 1 - D^2 / Do^2 \quad (D \leq Do),$$

$$P = 0 \quad (D > Do)$$

여기서 P는 투과율, D는 분진의 상대침강경(μm), Do는 7.07μm

※ 총 분진 : 포집기 입구에서의 유속은 50 - 80cm/sec로 하여 포집 한 분진을 총 분진으로 한다.

※ 유리규산 함유량이 10%이상의 분진 및 제1종, 제2종, 제3종 분진의 측정법

- 분진 농도 : 근로자가 1일의 근로시간 중에 노출하는 분진의 시간가중평균 농도(TWA)로 한다.

- 측정법

·개인시료채취기(Personal air sampler)를 근로자의 호흡기 부근에 착용하여 근로시간 중의 평균 노출농도를 측정한다.

·개인시료채취기(Personal air sampler)이외의 측정기를 사용할 때는 단위작업 마다 근로자의 위치에서 분진농도를 측정하고 시간가중평균농도를 측정한다.

### 2) 노동성에서 규정하고 있는 분진의 관리농도

일본 노동안전위생법 제 65조에서 정한 분진농도의 측정은 분진 장애예방 규칙

Table 1. , 공정 및 먼지농도

업 종	사업체수	A근로자수	주요 공정	먼지종류	B먼지농도, mg/m <sup>3</sup>
유리 및 유리제품제조업	1,501	25,723	원재료, 배합,	먼지(유리규산)	1.33-5.45
일반 도자기 제조업	1,892	20,061	원료투입 및 제조 반제품 검사 및 시유	광물성먼지	
내화요업제품			혼합, 분쇄 등		
석제품 제조업	3,077	20,541	절단, 연마	총먼지(유리규산)	33.45±43.92
석면제품 제조업			모든 공정	석면	
비철금속주조업	1,113	16,254	모든 공정	먼지(유리규산)	0.67-30.15
금속조립 구조재 제조업	16,565	85,833	연마 등	먼지(유리규산)	
선박 및 보트 건조업	1,317	82,141	절단, 의장	용접, 유리규산 등	16.6-9.2

Table 2. , 공정별 유리규산 농도 및 유리규산 함유 분진농도

업종	공정	농도 (mg/m <sup>3</sup> )	범위	분진종류	출처
석탄	Drillers	2.4	0.2-18.2	total dust	한국산업위생학회지 제1권 제1호 47-55
	Coal cutters	5.25	0.3-34.7	total dust	
	Separators	3.24	0.6-27.8	total dust	
	Haulers	1.82	0.4-24.7	total dust	
규조토	고노출군	18.3	8.86-35.51	total dust	한국산업위생학회지 제4권 제1호 81-95
	고노출군	2.2	1.18-3.65	respirable dust	
	저노출군	2.69	0.4	total dust	
	저노출군	0.57	0.35	respirable dust	
요업	Insulator	0.0457		respirable, quartz	한국산업위생학회지 제4권 제2호 168-179
	Table Ware	0.0199		respirable, quartz	
	Table Ware	0.0263		respirable, quartz	
	Sanitary Ware	0.0862		respirable, quartz	
	Crushing/milling	1.75		total dust	
	Weighing/mixing	1.25		total dust	
	Mold-making	0.37		total dust	
	Forming/shaping	0.91		total dust	
	Trimming	1.21		total dust	
	Glazing	0.77		total dust	
	Drying/firing	0.46		total dust	
	Sandbalsting	1.24		total dust	
	Packing	0.24		total dust	
	Crushing/milling	0.45		respirable dust	
	Weighing/mixing			respirable dust	
	Mold-making	0.25		respirable dust	
	Forming/shaping	0.17		respirable dust	
	Trimming	0.48		respirable dust	
	Glazing	0.62		respirable dust	
	Drying/firing	0.12		respirable dust	
석판광산	Picking	3.97	0.60-44.57	respirable dust	한국의 산업의학 제33권 제4호 153-162
	Caving carrier	7.28	0.91-60.36	respirable dust	
	Helper	0.63	0.06	respirable dust	
	separator	1.78	0.14	respirable dust	
		3.27	0.41	respirable dust	
석영	personal	1.06	0.16-5.36	respirable dust	한국산업위생학회지 제7권 제2호 196-208
	Area	0.4	0.06-3.94	respirable dust	
	Area	2.94	0.02-14.15	total dust	
	Melting			respirable, quartz	
	Molding	0.02775	11.00-95.80	respirable, quartz	
	Shakeout	0.04563	19.69-139.26	respirable, quartz	
주물작업	Finishing	0.02126	20.17-22.41	respirable, quartz	대한산업의학학회지 제10권 제1호 94-104
	molding	0.6	0.36-1.18	respirable, quartz	
	Melting	0.84	0.74-1.03	respirable, quartz	
	Coremaking	0.57	0.54-0.66	respirable, quartz	
	Finishing	1.24	0.62-3.07	respirable, quartz	
제조업	Melting	0.38	0.13-1.00	respirable dust	한국산업위생학회지 제8권 제1호 50-66
	Molding	0.34	0.05-2.32	respirable dust	
	Coremaking	0.43	0.26-0.74	respirable dust	
	Shakeout	0.36	0.22-0.55	respirable dust	
	Finishing	0.73	0.32-1.59	respirable dust	
	Melting	1.44	0.57-3.35	total dust	
	Molding	1.42	0.38-6.70	total dust	
	Coremaking	1.52	0.67-3.16	total dust	
	Shakeout	1.24	0.37-7.00	total dust	
	Finishing	3.4	1.03-8.37	total dust	
	Melting	23	2.46-140.09	respirable, quartz	
	Molding	15.85	2.06-60.72	respirable, quartz	
	Coremaking	10.84	7.66-25.34	respirable, quartz	
	Shakeout	23.85	5.99-75.43	respirable, quartz	
제조업	Finishing	31.75	1.95-132.67	respirable, quartz	한국산업위생학회지 제9권 제1호 99-111
	ceramics	0.02597	553.99	respirable, quartz	
	Stone	0.01716	38.07	respirable, quartz	
	Concrete	0.00764	15.74	respirable, quartz	
	Glass	0.01183	11.83	respirable, quartz	
	Briquets	0.01267	35.26	respirable, quartz	
	Others	0.0149	65.14	respirable, quartz	

Table 3. 여러나라에서 화강암채석 가공 산업과 분쇄된 돌과 관련된 산업에서의 결정형실리카의 작업환경 노출

나라, 조사년도 (공장수)	산 업	작업	시료수	개인호흡영역에서의 공기중 농도(mg/m <sup>3</sup> )		시료의 비율>OEL (%)	참고
				평균	범위		
핀란드, 1970-72 (32)	화강암채석	굴착 블록표면 기타	NR NR NR	1.47GM 0.82GM (0.12-1.44)GM	0.3-4.2 0.2-4.9 0.02-3.6		Koskela
스웨덴, 1976-88	화강암분쇄공장	분쇄	42	0.16		71	Malmberg 등 (1993)
덴마크, 1968-80 (NR)	빌딩자재(1968-77) 석채절단(1977-80)	굴착, 분쇄, 채질	80 21	2.1(severity) 0.6(severity)	0.2-135(severity) 0.3-6.3(severity)	75 45	Guenel 등 (1989)
미국, Vermont, 1973-74(5)	석재가공	여러가지	220	(0.055-0.088)GM	0.011-0.210	[35.9]	Donaldson 등 (1982)
미국, Georgia, 1973-74 (12)	석재가공	여러가지	255	(0.027-0.063) GM	0.004-0.83	[18.3]	
미국, Vermont, 1970, 1976(NR)	석재가공	여러 가지, 1970 여러 가지, 1976	467 535	0.034GM 0.043GM	0.003GSD 0.003GSD		Eisen 등 (1984)
미국, 1979-82 (19)	암석분쇄 광산과 밀링	여러 가지, 석회암 석회암 화성암	295 143 121	0.04 0.06 0.04	ND-0.43 ND-0.28 ND-0.48	10 22 7	Kullman 등 (1955)
영국, 스코틀랜드 1989-91(1)	사암 채석 및 분쇄	전반적 분쇄	119 19	0.04GM 0.09GM	4.0GSD 2.2GSD		Davies 등 (1994)

NR, not reported; GM, geometric mean; GSD, geometric standard deviation

Table 4. 여러나라의 주물공장에서의 결정형실리카의 직업별 노출

나라, 조사년도 (공장수)	산업	작업	시료수	개인호흡영역에서의 공기중 농도(mg/m <sup>3</sup> )		시료의 비율>OEL (%)	참고
				평균	범위		
스웨덴 1968-71(87)	철 강철	여러가지 여러 가지, 석영모래 여러 가지, 감람석모래	821	[0.63] [0.275] [0.130]	[0.20-4.21] [0.18-0.38] [0.0-0.38]		Gerhardsson(1976)
핀란드 1972-74(60)	철 강철	여러 가지 여러가지	1073 342	[0.19-2.25] [0.19-5.26]			Siltanen 등(1976)
미국, 1976-81 (205)	철 강철 알루미늄 동 다른비철 합금	여러 가지 여러 가지 여러 가지 여러 가지 여러 가지 녹임 부음 모래시스템 핵심제작 모울딩 다움 잡다한것	1149 287 171 115 20 55 52 202 89 397 779 166			41 54.4 29.8 23 35 56.4 29.9 45.8 14.6 29.7 49.0 35.5	Oudiz 등(1983)

나라, 조사년도 (공장수)	산업	작업	시료수	개인호흡영역에서의 공기중 농도(mg/m <sup>3</sup> )		시료의 비율>OEL (%)	참고
				평균	범위		
캐나다(알버타), 1978-80(9)	철금속	흔듬 관리	17		0.63-2.60		Ayalp & Myroniuk (1982)
		비관리	10		0.40-21.3		
		모울딩 관리	32		0.35-3.40		
		비관리	47		0.95-6.13		
		모래준비 관리	16		0.74-16.80		
		비관리	11		2.44-16.70		
캐나다(Ontario) 1983-88(2)	철 강철	여러 가지 손-그라인딩	1038	0.086	<0.01-1.36	None	Oudyk (1995) O'Brien 등(1992)
USA, NR(1)			15		ND-0.097		
					석영 ND-0.094 cristobalite		

Table 5. 여러나라의 세라믹 산업에서 결정형실리카의 직업별 노출

나라, 조사년도 (공장수)	산업	작업	시료수	개인호흡영역에서의 공기중 농도(mg/m <sup>3</sup> )		시료의 비율>OEL (%)	참고
				평균	범위		
이태리, 1989-92 (10)	위생도기	모울더	40	0.18GM	0.02-0.67		Cavarani 등(1995)
		검사	22	0.26GM	0.13-0.60		
		혼합	19	0.12GM	0.05-0.24		
		분무기	23	0.24GM	0.06-0.89		
		창고	13	0.01GM	0.01-0.02		
		화로작업자	15	0.44GM	0.26-0.73		
	도자기류	모울더	28	0.02GM	0.01-0.06		
		혼합	21	0.04GM	0.01-1.14		
		색칠	37	0.01GM	0.01-0.06		
		창고	17	0.02GM	0.01-0.04		
미국, NR(1)	위생도기	주조	15	0.13GM		95	Cooper 등 (1993)
		유약분무	18	0.22GM		100	
		유약준비	6	0.15GM		83	
	동일 (관리이행후)	주조	24	0.027GM		8	
		유약분무	20	0.034GM		5	
		유약준비	6	0.179GM		50	
남아프리카, NR(1)	벽타일, 욕조맞춤	여러가지일	38	(0.06-0.27) median			Rees 등(1992)
남아프리카 1973(NR)	위생도기	여러 가지	15			100	Rees 등(1992)
1974(NR)		타일	24			88	
1974(NR)		여러 가지	24			63	
1986(NR)		여러 가지	43			93	
1987(NR)		타일	6			17	
1989(NR)		여러 가지	9			89	
영국, NR(1)	위생도기	페틀러	19	0.135GM	2.44GSD		Higgins 등 (1985)
영국, NR(4)	위생도기	주조	58		[0.01-0.187]	[10]	Bloor 등(1971)
영국(NR)	도기산업중 12부문	여러가지	280(일들)	0.085		18	Fox 등(1975)

NR, not reported; GM, geometric mean; GSD, geometric standard deviation

나라, 조사년도 (공장수)	산 업	작 업	시료수	개인호흡영역에서의 공기중 농도(mg/m <sup>3</sup> )		시료의 비율>OEL (%)	참고
				평균	범위		
미국, 1974-75 (4)	빌딩벽돌	혼합 다른여러가지	21 132	0.113GM (0.021-0.072)GM	0.024-0.0427 0.0004-0.692		Anderson 등(1980)
미국, 1974-75 (2)	점토관	여러가지	47	(0.014-0.043)GM	0.008-0.200		Anderson 등(1980)
남아프리카, NR(3)	벽돌작업	여러가지	29		0-0.230		Myers 등 (1989)
네덜란드, 1986-88(4)	벽돌작업	여러가지	30		0-1.120		Buringh 등(1990)
미국, 1980(2)	내화벽돌	여러가지	8		<0.004-0.143		Salisbury와 Melius (1982)
중국, 1950-87 (9)	도자기	모든일 점토준비 점토틀 마무리 서비스	770 131 135 395 109	0.71 (0.45-4.70) (0.46-0.63) (0.37-0.69) (0.32-0.38)			Dosemeci 등(1995)

NR, not reported; GM, geometric mean; GSD, geometric standard deviation

제 25조에 토석, 암석, 광물, 금속 또는 탄소분진을 현저하게 발산하는 옥내 작업장」에 대하여 실시하도록 규정하고 있으며, 분진 장해 예방규칙 제26조 제2항에는 분진농도의 측정 시에는 유리규산 함유율을 반드시 측정하도록 규정하고 있다.

이는 분진의 관리농도를 구하기 위해서는 유리규산 함유율이 필요하기 때문이며, 분진의 관리농도를 정한 노동성 통달 『작업환경평가에 기초한 작업환경관리 추진에 관해서(1984년 2월 13일, 기발69호)』에는 광물성 분진은 다른 물질과 달라 다음 식에 의해 관리농도를 구하도록 규정하고 있다.

$$E = 2.9 / 0.22 Q + 1 \text{ mg/m}^3$$

여기에서 E는 관리농도, Q는 유리규산 함유율(%)

이 식에 의하면, 분진의 관리농도는 유리규산 함유율에 따라 결정되며, 이는 유리규산 함유율이 많으면 많을수록 진폐증을 유발할 수 있는 확률이 높아지는 것으로 알려져 있기 때문이다.

이러한 이유로 인해 공기 중에 부유하고 있는 분진이 석탄이나 알루미늄 등이어도 광물의 종류에 의한 구분을 하지 않

고 그 중에 유리규산 함유율에 의해서만 관리농도가 결정된다.

### 3) 분진 작업장의 유리규산 함유율 평가

○ 분진평가에 사용하는 관리농도는 유리규산 함유율로 구하기 때문에 함유율이 변동하면, 측정치가 동일하여도 평가는 달라지게 된다.

대부분의 경우 유리규산 함유율은 단위 작업장소에 따라 다른 것은 물론이고, 동일 작업장소라도 측정할 때마다 다른 양상을 보이고 있다. 유리규산 함유율이 일정하지 않은 작업장소에는 분진의 조성이 변하고 있는 것으로 생각되기 때문에 주변 작업장소로부터의 영향을 그 만큼 많이 받고 있다고 말할 수 있다.

따라서 이러한 작업장소에는 측정 시에 유리규산 함유율 분석을 반복 시행하여 평균수치를 구한 뒤에 평가하여야 한다.

## 2. 미국

### 1) (OSHA)

석영의 경우  $10/((\%SiO_2)+2) \text{ mg/m}^3$ , 크리스토파라이트와 트리디마이트는  $10/$

$((\%SiO_2)+2) \text{ mg/m}^3$ 의 1/2로 적용하며, 혼합물질 경우는  $10/((\%quartz)+2(\%cristobalite)+2(\%tridymite)+2) \text{ mg/m}^3$ 로 정하고 있다(U.S. Department of Labor, 1996).

### 2) (ACGIH)

크리스토파라이트와 트리디마이트는 호흡성분진 분율의 개념으로  $0.05 \text{ mg/m}^3$ 로 정하고 있고, 석영은 크리스토파라이트와 동일한 농도이지만 호흡성실리카, A2 인간발암성의심물질로 규정되어있다. 결정형 규산중 트리폴리는 호흡성석영입자  $0.1 \text{ mg/m}^3$ 로 설정되어 있다. 비결정형은 일반분진과 마찬가지로  $10 \text{ mg/m}^3$ 로 설정되어있다.

### 3) (NIOSH)

NIOSH는 실리카의 결정형에 관계없이 호흡성 유리규산(respirable free silica)으로  $0.05 \text{ mg/m}^3$ 을 권고하였다. 따라서 크리스토파라이트와 트리디마이트에 대한 NIOSH의 권고기준은 ACGIH의 TLV와 같으나 석영의 경우는 ACGIH 기준의 절반인 셈이다. 석영에 대하여 이렇게 강화된 기준을 권고하게 된 근거로서 NIOSH는 Hosey, Ashe와 Trasko(1957, 이것은



Table 6. 10% 미만의 광물성 분진과 기타 분진의 종류와 허용농도

구분 종별	분진의 종류	허용농도(mg/m <sup>3</sup> )		비고
		흡입성 분진	총 분진	
제1종에 속하는 분진	활석, 납석, 알루미늄, 알루미늄, 규조토, 황화광, 황화소광, 벤토나이트, 가오린, 황성탄, 흑연등	0.5	0.2	.
제2종에 속하는 분진	유리규산(SiO <sub>2</sub> ) 10%미만의 광물성분진, 산화철, 카본블랙, 석탄, 산화아연, 이산화티탄, 포트랜드 시멘트, 석회석, 대리석, 곡물분, 먼진, 목분, 콜 크분, 베크라이트, 가죽먼지	1.0	4.0	
제3종에 속하는 분진	그외의 무기 및 유기 분진	2.0	8.0	
석면 분진	크리스토알, 아모사이트, 트레모라트, 안소퍼라이트, 악티노라이트	① 시간가중평균치 : 5 $\mu$ m이상의 석면섬유로 2 섬유/cm <sup>3</sup> (이것에 대응하는 석면 분진의 중량농도는 0.12mg/m <sup>3</sup> )		
		② Ceiling 값 : 5 $\mu$ m이상의 석면섬유로 10 섬유/cm <sup>3</sup> (어떠한 경우라도 15분간의 평균농도가 이 수치를 초과하여서는 안된다)		
	청석면	0.2 섬유/cm <sup>3</sup>		

1986년도 ACGIH에서도 인용함)의 연구를 인용하고 있는데, 이들은 버몬트주의 화강암 광산에서 관찰한 결과 0.05mg/m<sup>3</sup> 이하에 노출된 근로자에서 신규 규폐증이 발견되지 않았다고 하였다. 또 이 권고기준은 Theriault, Burgess, DiBerardinis (1974); Theriault, Peters, and Fine(1974); Theriault, Peters, and Johnson(1974)의 연구들에도 일부 기초하고 있는데 이들은 평균 0.05mg/m<sup>3</sup> 석영농도에 노출된 192명의 화강암 광산 근로자들에게서 연차적으로 폐기능이 감소하였고 비정상적인 흉부엑스선 소견이 발생하였다고 발표하였다. NIOSH는 상기 Theriault 등의 3개 연구에서 발표된 노출 추정치가 노출 측정이 시작되기 전 수년간 발생하였던 훨씬 높은 농도에 근로자들이 노출되었던 점을 고려하지 못하였고, 따라서 Theriault 등(1974)의 노출 자료는 평균 석영 농도를 저추정하였을 것으로 언급하였다. 그러므로 NIOSH는 폐기능 감소에 영향을 준 노출은 실제로는 0.05mg/m<sup>3</sup> 이상으로 보고 있다. ACGIH는 Graham 등(1994)의 연구를 근거로 NIOSH의 근거가 설득력이 없다고 하였는데 이들은 Theriault 등이 연구한

동일한 그룹의 근로자들을 대상으로 폐기능을 측정한 후 Theriault의 연구와는 대조적으로 이들 근로자들에게서 “전체적으로 FVC와 FEV가 향상”되었다고 발표하였다.

### 3. 독일연방

Cristobalite와 tridymite를 포함하여, 석영에 대한 최대허용값(MAK) 값으로 0.15 mg/m<sup>3</sup>을 채택하였다.

### 4. 스웨덴

스웨덴에서 석영에 대한 수치는 공기 중 체적당 총분진의 양을 중량법을 사용하여 결정하고 분진의 양과 free silica의 함유량 퍼센트에 근거한 식에 의해, 1.0 이상의 값은 규폐증의 위험이 있다는 것을 나타낸다.

Free silica의 함유량이 2.5% 미만이면, 15mg/m<sup>3</sup> 이 기준이며, 분진에 많은 양의 cristobalite 혹은 많은 비율의 호흡성 분진이 포함되어 있는 경우, 더 낮은 기준을 적용하고 있다.

### 5. 프랑스

1956년이래로 각 작업장에 대한 분진색인을 작성하였는데 이 목록은 mg/m<sup>3</sup> 당 5 $\mu$ m이하의 분진입자의 수, 5 $\mu$ m이하 분진의 X-선 회절로부터 결정된 free silica의 %함유량, 채택된 포집 및 검사방법에 의해 작성되었다. 이 분진색인이 규폐증의 위험과 관련한 의학 검사의 빈도를 결정한다. 색인에서 5미만의 분진 농도는 만족, 5-6은 의심스러움, 6이상은 위험으로 간주하고 있다.

### 6. 소비에트 연방(러시아)

Free silica의 함량에 근거하여 아래의 농도가 허용된다.

Mineral and Organic Dust	Maximum Permissible Conc. mg/m <sup>3</sup>
Over 70% crystalline silica	1
10-70% free silica	2
Silicate dust with 10% free silica	4
Other mineral dust with 10% free silica	5
Minerals and mixture with no silica	6
Coals with more than 10% free silica	2
Coals with less than 10% free silica	4
Coals with no silica	10

## IV. 노출기준 개정안

### 1. 노출기준

앞에서 언급한 바와 같이 현재까지 나와 있는 신뢰성 있는 자료를 검토한 결과를 종합해보면 유리규산 기준은 호흡성 분진을 포집하도록 하며, 호흡성 분진내 결정형 실리카를 분석하고, 기준은 실리카의 결정형 형태에 관계없이 석영, 크리스토파라이트, 트리디마이트 모두 현재로서는  $0.05 \text{ mg/m}^3$  기준을 적용하는 것이 적절할 것으로 판단되며 아래와 같이 개정안을 제안한다. 이 기준을 적용하더라도 적절한 국소배기장치 등이 마련된 작업장 환경이라면 충분히 달성할 수 있는 기준으로 판단된다.

### 2. 호흡성 분진에 대한 정의

현재 우리나라에서 사용하고 있는 호흡성분진의 정의는 일본에서 도입하였으며 그 설정배경은 정확히 알 수 없다. 이 일본 기준은 영국의 BMRC 기준과 비슷하기는 하지만 정확하게 일치하는 것은 아니며 그 운용상에 있어서도 매우 취약하다. 따라서 이번 기회에 호흡성 분진에 대한 정의를 명백히 하여야 할 것이다.

기존 호흡성 분진의 정의로 많이 인용된 것은 영국의 BMRC 기준과 미국의

ACGIH와 원자력 위원회(AEC)의 기준이다. 호흡성 기준으로 가장 먼저 나온 것은 1952년 영국의 BMRC 기준으로 호흡성분진이란 “폐포에 도달하는 먼지”로 규정하였으며 이는 공기역학적 직경이  $7.1 \mu\text{m}$  이하인 분진으로,  $5 \mu\text{m}$ 에서 50% 침착율을 갖는 분진이다. 이 호흡성 분진을 측정하기 위해서는 분립장치로 horizontal elutriator를 사용하였다. 미국에서는 AEC에서 1961년에 폐의 nonciliated portion까지 침투하는 분진으로 규정하였으며 이는  $10 \mu\text{m}$  이하의 분진으로  $3.5 \mu\text{m}$ 에서 50% 침착율을 갖고  $2 \mu\text{m}$ 에서 100%의 침착율을 갖는 분진으로 규정하였다. ACGIH에서는 1968년에 AEC 기준과 동일하나  $2 \mu\text{m}$ 에서 90% 침착율을 갖는 분진으로 규정하였고 이들 미국 기준에서는 분립장치로 10mm 나일론 사이클론을 사용하도록 하였다. 이런 여러 기준에 대하여 통합할 필요성이 제기되었고 미국과 유럽, 국제기구간에 논의를 거쳐 ACGIH-ISO-CEN 통합기준이 발표되었다. 이 기준에 의하면 호흡성 분진은  $10 \mu\text{m}$ 이하의 분진으로  $4.0 \mu\text{m}$ 에서 50% 침착율을 갖는 분진으로 규정되며, 분립장치로 사이클론을 사용하도록 하였다.

이상과 같은 국제적 흐름을 감안할 때 우리나라도 현행 호흡성분진의 정의를 국제적으로 통합된 기준을 채택하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

### 3. 시료 포집 및 분석 방법

위에서 언급된 호흡성분진이 정의되면 호흡성 분진 분리 포집기기로 10mm 나일론 사이클론으로  $5 \mu\text{m}$  기공의 pvc 필터가 내장된 카세트를 장착시키고 1.7 lpm의 유량으로 포집하도록 하거나 이와 동등한 성능을 갖는 기기를 사용하도록 규정을 변경하여야 한다.

이런 방법을 통하여 포집된 분진은 유리규산 함량을 분석하여야 하는데, NIOSH 분석방법인 엑스레이회절분석법(XRD) (Method No. 7500)이나 KBr 펠렛(Method No. 7602), 또는 직접필터분석법을 이용한 푸리에변환적외선분광광도법(FTIR), 또는 이와 동등한 결과를 낼 수 있는 방법을 사용하여 그 함량을 구하도록 하여야 한다.

포집된 각각의 시료는 작업의 특성, 작업자의 노출 분포, 함유된 성분 등이 모두 다르기 때문에 분석은 반드시 필터를 각각 분석하여야 한다.

### 4. 결과 처리

중량 분석으로 얻어진 결과와 유리규산 함량에 대한 분석을 토대로 호흡성 분진 내 유리규산 농도를 계산하고, 이 결과를 유리규산의 형태에 무관하게 일률적으로 중량으로 설정된 기준과 대비하여 적용하

Table 7. 유리규산 노출기준 개정안

항 목	개 정 전	개 정 후	비고
별표 2-1, 총분진의 노출기준	유리규산 함유량에 따른 1종, 2종, 3종분진 구분	삭제	(석면 및 기타분진제외) 각분진의 노출기준을 표1-1에 삽입
별표 2-2, 호흡성분진의 노출기준	13종의 호흡성 분진의 노출기준	삭제	각분진의 노출기준을 표1-1에 삽입
산화규소(결정체 석영)	$0.1 \text{ mg/m}^3$	$0.05 \text{ mg/m}^3$	호흡성 분진명기
산화규소(결정체 크리스토파라이트)	$0.05 \text{ mg/m}^3$	현행유지	호흡성 분진명기
산화규소(결정체 트리디마이트)	$0.05 \text{ mg/m}^3$	현행유지	호흡성 분진명기
산화규소(결정체 트리폴리)	$0.1 \text{ mg/m}^3$	$0.05 \text{ mg/m}^3$	호흡성 분진명기
산화규소(비결정체규소, 용융된)	$0.1 \text{ mg/m}^3$	현행유지	호흡성 분진명기



도록 한다.

## 5. 제한점

### 1) '기준 설정 및 대상 문헌

이번에 제안된 유리규산  $0.05\text{mg}/\text{m}^3$  기준은 기존 기준에 비교해 볼 때, 상당히 강화된 기준이지만, 몇몇 연구에서 이 기준보다 낮은  $0.01\text{mg}/\text{m}^3$  농도에서도 규폐증 발생위험이 1%,  $0.025\text{--}0.05\text{mg}/\text{m}^3$  농도에서 13%의 위험이 있다는 보고와, 이 물질의 발암성에 대한 보고가 계속되고 있는 점을 감안할 때, 장기적으로는  $0.01\text{mg}/\text{m}^3$  또는 그 이하로 낮추는 것도 고려하여야 할 것으로 판단된다.

그러기 위해서는 지속적으로 이런 농도에서의 건강상 영향에 대한 추적조사 연구를 하여야 한다. 유리규산에 대한 노출 기준을 설정하기 위해서는 우선적으로 유리규산에 노출되었을 경우 발생할 수 있는 건강상 영향에 대한 정보가 검토되어야 한다. 이런 자료는 먼저 현재 있는 기준이 근거한 문헌을 토대로 하고, 그 위에 국내외에서 새롭게 연구 발표된 자료를 기준으로 건강상 영향을 평가하여야 할 것이다. 연구 발표된 자료로는 *in vitro* 및 *in vivo* 동물 실험, 인체 노출 자료, 역학 자료 등을 전부 포괄하여 검토하여야 하며, 건강상 영향으로는 규폐증뿐 아니라 규폐 합병증 및 발암 가능성, 폐기능 검사 결과 등이 포함되어야 할 것이다. 이 외에 공식적으로 발표되지 않은 희귀한 자료도 있을 것으로 판단되지만 이런 경우는 공개된 자료가 아니므로 검토 대상에서 제외하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

### 2) 기술적 경제적 타당성 검토

건강상 영향을 기준으로 설정된 기준치에 대해서는 이런 기준이 우리나라가 가지고 있는 현실에 비추어보아 적용 가능할 것인지에 대한 기술적, 경제적 실현 가능성 검토가 필요하다. 이런 검토가 제대로 되기 위해서는 기본적으로 충분한 자료(산업체 노출자료, 기술자료, 경제적 비용 등)가 전제되어야 한다.

그러나 우리나라의 현실상 아직은 이런

자료가 충분하다고는 볼 수 없기 때문에 우선적으로 자료 수집체계가 갖추어져야 할 것이다. 현재 한국산업안전공단에서 가지고 있는 전산망 및 자료 수집 체계를 보완하여 이런 자료가 공식적으로 입수되도록 하고 분석체계를 갖춘다면 매우 유용할 것이다.

이런 자료가 수집되면 우리나라에 맞는 모델을 개발하여 적용하는 것이 가능하다. 비용-분석에 관한 모델은 다양하게 존재하므로 타당한 모델을 설정하고 분석하면 경제적 파장이 얼마나 미칠 것인지에 대한 추정치가 마련될 것으로 본다. 또 현존하는 기술로서 과연 제안된 기준치까지 현장 농도를 낮출 수 있는 지를 검토하는 기술적 타당성에 대해서는 동종 업계에 적용된 사례, 파일럿 테스트나 가상 시뮬레이션, 외국의 사례 등을 참고하여 활용하면 될 것으로 보인다.

따라서 이와 같은 여러 단계의 작업을 거치려면 인력, 자원, 장비, 법적 지원 등이 필요할 것으로 판단되며, 우리나라의 현실상 한국산업안전공단 산업보건연구원에서 수행하는 것이 가장 타당할 것으로 판단된다. 물론 이런 작업을 하기 위해서는 현재의 인력이나 구성원의 학력 배경, 예산 등으로는 불가능하고 충분한 뒷받침이 선행되어야 한다. 또 자체 인력만으로는 될 수 없으므로 대학 교수진 및 연구소 등 외부 기관과 연계하여 합동 연구가 가능하도록 하여야 할 것이다.

## V. 결 론

현재 작업환경측정기관에서 결정형 규산의 성분별 정량분석과 호흡성분진의 측정이 동시에 이루어지지 않고 있으며, 대부분 중량분석법 또는 상대농도법으로 결과를 추정하여 총 분진의 허용농도에 적용하고 있어 유리규산의 노출평가가 제대로 수행되고 있지 않다.

그래서 본 연구에서는 국내외 유리규산의 노출실태를 파악하고, 국가별 노출기준과 노출기준의 설정근거를 검토하여, 국내의 유리규산 노출작업자의 건강을 보

호할 수 있는 노출기준을 설정하였다.

유리규산 분진의 포집은 호흡성 분진을 포집하도록 하며, 호흡성 분진내 결정형 실리카를 분석하고, 노출기준은 실리카의 결정형 형태에 관계없이 석영, 크리스토팔라이트, 트리디마이트 모두  $0.05\text{mg}/\text{m}^3$  기준을 적용하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

## REFERENCES

- 김병수, 김성천, 이채언, 전진호, 김진옥, 김준연. 제조업 산업장의 작업공정과 분진 작업장내의 분진농도에 관한 조사 연구. 인제의학 1986;7(2):61-69.
- 김희만, 김돈균. 분진 발생 작업장의 분진 발생 실태 및 영향인자에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1993;3(2):227-239.
- 노동부. 화학물질 및 물리적인자의 노출 기준. 노동부, 2002
- 백남원. 산업위생학개론. 서울: 신광출판사, 1995:61-67.
- 송세욱, 이광목. 일부 석탄광산의 공정별 호흡성 분진 및 유리규산의 폭로 농도. 한국의 산업의학 1994;33(4):153-161.
- 윤영노, 김영식. 일부 석탄광산 기중 부유 분진의 입경 분포와 호흡성 분진 비율. 한국산업위생학회지 1991;1(1):62-67.
- 윤영노, 정호근. 태백지역 석탄광산의 작업부서별 호흡성 분진 폭로농도. 한국산업위생학회지 1991;1(1):47-55.
- 이승한. 규폐증. 조규상 편, 진폐증. 서울: 최신회의사, 1985:203-224.
- 이원철, 임현우, 맹광호, 김현옥, 구정완, 임영, 윤임중. 제조업 진폐증의 역학적 특성, 가톨릭대학교 산업의학연구소 1997.
- 작업환경측정 기술협의회. 작업환경측정 종합 연보. 2001.
- 정지연, 이윤근, 장순문, 신용철. 주물사업장의 분진폭로 실태와 입경분포 특성. 서울대학교 10주년기념 학술 논

- 물질 1995;172-186.
- 정호근, 최호춘, 김해정. 호흡성분진 중 유리규산 농도 분석법. 근로복지공사 중앙병원부설 직업병연구소. 직연보 2-89-2. 1989.
- 최호춘, 천용희, 윤영노, 김해정. 태백 및 강릉지역 석탄광의 호흡성 분진과 석영농도에 관한 조사. 예방의학회지 1987;20(2):261-269.
- 최호춘, 천용희, 김해정, 이정주. 간접식 적외선 분광기에 의한 태백지역 석탄광의 호흡성 분진 중 석영, 운모 및 장석의 정량분석. 대한예방의학회지 1988;21(2):271-283.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure Indices 1994-1995. Cincinnati, ACGIH, 2002.
- Barg E. Studies of beryllium geochemistry in soils: Feasibility of using  $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$  ratios for age determination. University of California, San diego, 1992;68-71.
- Boone CW, Houten RW. Comparison of foundry dust evaluation by various methods. Am Ind Hyg Assoc J 1976; 537-540.
- Burgess WA. Foundry Operations. In : Recognition of health hazards in industry(A review of materials and processes), 2th ed, John Wiley & Sons, Canada, 1995.
- Freedman RW, Toma SZ, Lang HW. On-filter analysis of quartz in respirable coal dust by infrared absorption and x-ray diffraction. Am Ind Hyg.Assoc J 1974;411-8.
- Graham WG, Weaver S, Ashikaga T, O'Grady RV. Longitudinal Pulmonary Function Losses in Vermont Granite Workers. A Reevaluation. Chest 1994 ;106(1):125-130
- Groves WA, Hanne RA, Levine SP, Schoch MA. A Field comparison of respirable dust samplers. Am Ind Hyg.Assoc J 1994;55(8):748-755.
- Hewett P, MaCawley AM. A microcomputer spreadsheet technique for analyzing multimodal particle size distribution. Appl Occup Environ Hyg 1991;10:865-873.
- Hogan TJ. Particulates. In : Fundamentals of industrial hygiene, 4th ed, by B.A. Plog, Itasca, Illinois, National Safety Council, 1995.
- International Agency for Research on Cancer. IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans: Silica and some silicates. Vol 42. Lyon, France: World Health Organization, IARC, pp 49, 51 1987.
- Janko M, McCrae R E, O'Donnell J F, Austria R J. Occupational exposure and analysis of microcrystalline cristobalite in mullite operations. Am Ind Hyg Assoc J 1989;50(9):460-465.
- Madsen FA, Rose MC, Cee R.. Review of quartz analytical methodologies: present and future needs Appl Occup Environ Hyg 1995;10(12):991-1001.
- National Institute for Occupational Safety and Health : NIOSH manual of analytical methods, 4th SILICA, CRYSTALLINE by IR 1994.
- Occupational Safety and Health Administration : OSHA analytical methods manual, 2th ed, Quartz and cristobalite in workplace atmospheres 1991.
- Oudiz J, Brown JW, Ayer HE, Samuels S. A report on silica exposure levels in United States foundries. Am Ind Hyg Assoc J 1983;44:374-376.
- Perrault G, Dion C, Ostiguy C, Michaud D, Baril M. Selective sampling and chemical speciation of airborne dust in ferrous foundries Am Ind Hyg Assoc J 1992;53(7):463-70.
- Pickard KJ, Walker RF, West NG. A comparison of x-ray diffraction and infrared spectrophotometric methods for the analysis of  $\alpha$ -quartz in airborne dusts. Ann Occup Hyg 1985;29(2): 149-67.
- SAS/STAT ■ User's guide, release 6.03, SAS institute Inc., Cary, NC, USA, 1988.
- Theriault GP, Burgess WA, DiBerardinis LJ, Peters JM. Dust Exposure in the Vermont Granite Sheds. Arch Environ Health 1974;28(1):12-17.
- Theriault GP, Peters JM, Fine LJ. Pulmonary Function in Granite Shed Workers of Vermont. Arch Environ Health 1974;28(1):18-22
- Theriault GP, Peters JM, Johnson WM. Pulmonary Function and Roentgenographic Changes in Granite Dust Exposure. Arch Environ Health 1974 ;28(1):23-27
- Toffolo D, Lockington N. Direct infrared spectrophotometric analysis of free crystalline silica in respirable dust from a steel foundry Am Ind Hyg Assoc J 1981;42:579-585.
- U.S. Department of Labor. Silica dust exposure can cause silicosis fact sheet No. OSHA 96-54, 1996.