

## 국외논문정보

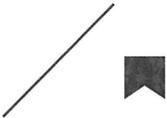
제1차/편역위원장 김현아

호흡성분진 포집용 시료채취기의  
현장성능 및 호흡성유리규산  
분석 실험실 비교 평가

원제 : A comparison of the Performance of Samplers  
for Respirable Dust in Workplaces and Laboratory Analysis  
for Respirable Quartz

저자 : Steven Verpaele and Jonathan Jouret

출처 : Ann. Occup. Hyg. Vol.57 No. 1, pp54-62, 2013


 서론

호흡성 결정형 규산(Respirable crystalline silica, RCS)에 노출되어 발생하는 가장 오래된 직업병은 규폐증이다.

여기서 호흡성이란 NEN-EN 481에 규정되어 있는 바와 같이 공기역학적 median 직경이  $4.3 \mu\text{m}$  이상인 분진을 말한다. 결정형 규산이란 일반적인  $\alpha$ -quartz와  $\alpha$ -cristobalite 형태로 결정형 규폐증이나 섬유화 형태로 폐에 영향을 준다.

벨기에에서 호흡성 분진의 최대노출기준은 8시간 시간가중평균치로  $3 \text{ mg/m}^3$ , 호흡성 quartz는  $0.1 \text{ mg/m}^3$ , 호흡성 cristobalite는  $0.05 \text{ mg/m}^3$ 로 정하고 있다.

호흡성 분진을 포집하기 위해 사용되는 시료 포집기는 호흡성과 비호흡성 분진을 분리할 수 있어야 한다. 이 분진을 필터나 스펀지 같은 조직에 포집한 후, 중량분석하게 된다. 호흡성 분진 포집기는 NEN-EN 481에 명시된 바와 같이 호흡기에 들어가는 건강과 관련된 분진 크기를 정의하는 협약을 따른다. 그러나 분진의 크기별로 포집기의 시료채취효율이 다르기 때문에 포집된 호흡성 분진의 중량에 차이가 있으며, 상이한 필터 사용이나 시료 포집장치의 누설 등도 포집량에 영향을 주는

요인이다. 또한 분석방법도 오차의 원인이 되는데 특히 방해물질이 존재하는 곳에서 저농도를 측정할 때 더 영향을 받게 된다(Stacey, 2007).

가장 흔히 사용되는 RCS 분석 방법은 적외선분광법(IR)과 엑스선회절분석(XRD) 방법이다. IR 방법이 더 많이 사용되고 있는데 XRD보다 저렴하고 신속하게 분석할 수 있기 때문이다(Madsen et al, 1995). XRD 방법도 자주 접하게 되는데 이는 결정형 물질을 분석할 수 있는 유일한 방법이기 때문이며, 또 방해물질의 영향을 적게 받고 결정형 규산(quartz, cristobalite, tridymite)을 구분할 수 있다. IR 분석에 방해로 주는 물질들은 잘 알려져 있으며(Ojima, 2003) 석탄분진 내 kaolinite 같은 것이다(NIOSH, 1994). 따라서 시료 내 존재하는 다른 규산 광물의 존재를 고려하고 분석하는데 많은 경험과 지식이 필요하다.

## ■ 목적 및 방법

본 연구의 목적은 다양한 시료 포집장치를 실험실이 아닌 진짜 작업장에 적용해서 중량 비교와 RCS 결과를 비교 평가하는데 있다.

실제 작업현장으로 에나멜 공장, 주물공장, 모래 공장, 그리고 벽돌 공장 4곳을 선정하였으며, 현장에서 동시에 12대의 분진 포집기를 매달 수 있는 회전식 장치(Workplace Atmosphere Multi-Sampler, WAM)를 고안하여 활용하였다. 연구에 사용된 호흡성 분진 포집기로는 SKC 전도성 플라스틱 사이클론(SKC HD)으로, 한 대는 PVC 필터를, 다른 하나는 PC 필터를 장착하였고, Dorr Oliver 사이클론, Higgins-Dewell 사이클론(BCIRA), SIMPEDS, 그리고 CIP 10-R로 폴리우레탄 폼을 장착하였다.

<표 1>은 각 실험실에서 사용한 장비와 분석 방법을 요약한 것이다.

선정된 작업현장에서 2일씩 총 8일간 WAM을 이용해 시료를 채취하였으며, 회전장치는 분당 2.8회전으로 각 포집기가 동일하게 분진을 포집하되 포집기의 채취 효율에 영향을 주지 않을 정도로 저속이었다. 시료 포집 전에 사이클론에 누설이 있는지 점검하였고, 필요시 조치를 하였다.

<표 1> Equipment and analytical methods of the participating laboratories

Sampler	Pump	Filter(Diameter, pore size)	Analytical method(s)/ laboratory	Standard/normative	Equipment
SKC 1	Buck-VSS 5	PVC 25mm (5 $\mu$ m)	IR direct-on-filter	MDHS 101(HSE, 2005)	Bruker Tensor 27
			IR KBr disk method	NIOSH 7602 (NIOSH, 2003)	Perkin Elmer 100 FTIR
SKC 2	Gilair 5000	PC 25mm (0.8 $\mu$ m)	XRD direct-on-filter	MDHS 101(HSE, 2005)	Panalytical PW3830

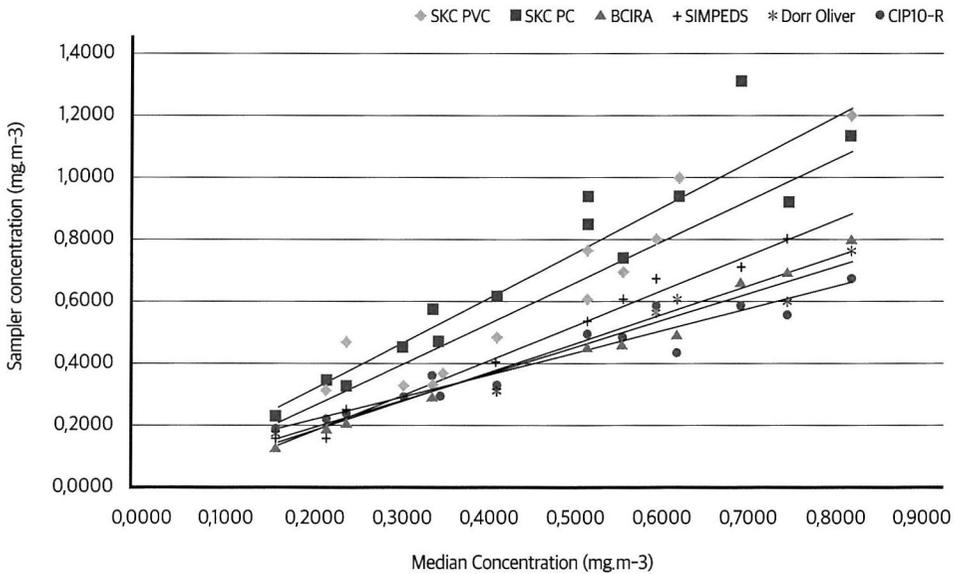
BCIRA	Gilair-5	PC 25mm (0.8 $\mu\text{m}$ )	XRD direct-on-filter	MDHS 101(HSE, 2005)	Panalytical PW1729
SIMPEDS	Buck-VSS 5	PVC 25mm (5 $\mu\text{m}$ )	XRD direct-on-filter	MDHS 101(HSE, 2005)	Panalytical X-pert pro MPD
Dorr Oliver	Buck-VSS 5	PVC 25mm (5 $\mu\text{m}$ )	XRD direct-on-filter (in-house method)	NIOSH 7500(calibration line) (NIOSH, 2003)	Bruker D8
CIP 10-R		PUR 45 ppi	XRD re-deposition	NF X 43-295(AFNOR, 1995a) NF X 43-296 (AFNOR, 1995b)	Bruker D8

## 결과

### 호흡성분진 비교

각 시료 포집기는 동일한 시료 채취 중 얻은 자료에서 계산한 중앙값(median)과 비교하였다(그림 1). SKC 전도성 플라스틱 사이클론은 다른 시료 채취기와 비교해 가장 높은 농도를 보였고(>52%), CIP 10-R은 가장 낮은 농도(<26%)를 보였다.

BCIRA, SIMPEDS, Dorr Oliver 사이클론은 중앙값에 가장 근접하였다. 시료 채취기별 작업현장별 ANOVA 분석 결과, 에나멜 공장에서는 시료 채취기별로 차이가 없었으며 주물공장에서도 차이가 없었다. 모래 공장과 벽돌 공장에서는 시료 채취기별로 차이가 있었다.

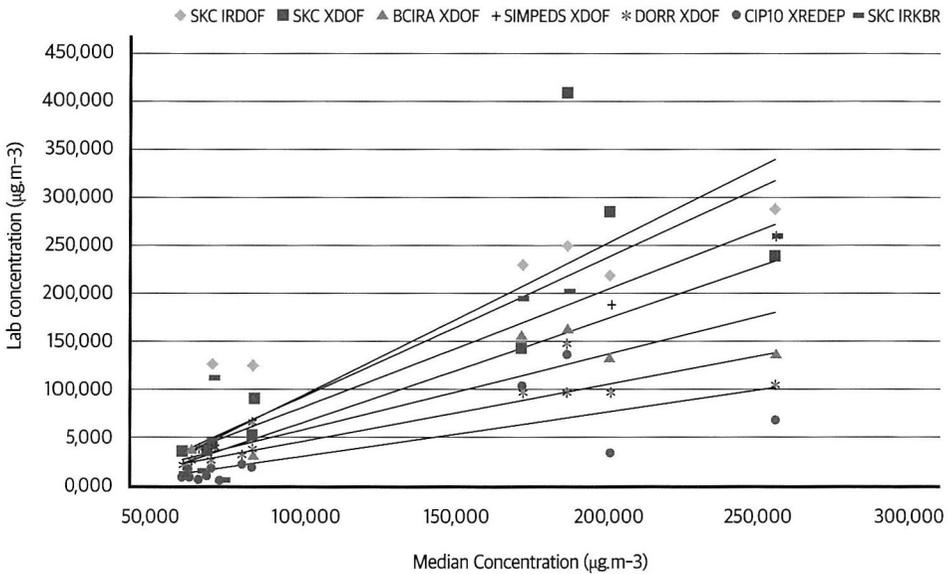


<그림 1> Reported respirable dust concentration compared to the median

### 결정형 규산 분석결과 비교 (quartz 분석)

RCS 농도도 각 채취별 중앙값과 비교하였다(그림 2). 전체적으로 중량분석과 비교해 상관 관계는 낮았으며, 특히 CIP 10-R은 많은 차이를 보였다. 경향선에서 최대와 최소 기울기 계수로 측정된 결과 범위는 약 80%이었다. 중앙값에 가장 근접한 상관계수와 관련성을 보인 포집기는 SIMPEDS로 XRD와 MDHS 101 방법을 사용하여 분석한 경우이었다.

각 작업현장별 분석방법별 차이를 ANOVA로 분석한 결과, 모든 작업현장에서 다 차이가 있었으며, 시료 포집기별로도 차이가 있었다.



<그림 2> Reported respirable quartz concentration compared to the median

## 토의 및 결론

각 포집기별로 중량에 차이가 생긴 것은 시료 포집기별로 입자분리성능과 작업현장의 대기가 다르기 때문으로 보인다.

전체적으로 SKC HD 사이클론에 PC 필터를 장착했을 때 다른 시료 포집기와는 달리 과포집하는 것으로 보이며, 이것은 포집효율에 문제가 있음을 시사한다. 또 CIP 10-R 포집기는 다른 포집기와 달리 일정하게 낮은 포집효율을 보이지만 다른 포집기와 통계적인 차이는 없었다. SKC HD 사이클론 간에

차이는 없었으나, 0.8  $\mu\text{m}$  PC 필터를 장착한 경우에 5.0  $\mu\text{m}$  PVC 필터를 장착한 경우보다 지속적으로 과포집하였다.

이는 필터의 선택이 시료 포집기의 성능에 영향을 줄 수 있는 것으로 보인다. 시료 분석에서 CIP 10-R에 AFNOR 방법 NF X 43-262를 적용할 경우, 다른 포집기와 분석 방법을 사용한 것에 비교해 quartz 농도가 현저하게 낮게 생성되었다. IR 방법을 이용해 SKC 전도성 플라스틱 사이클론에 PVC 필터를 장착한 시료를 분석하는 경우도 호흡성 분진을 과포집하였고, 다른 결과와 상이한 차이를 얻었다.

결론적으로 호흡성 분진 시료 채취기에 따라 포집 효율이 다르며, 분석 방법에 따라 차이가 더 발생할 수 있다. 따라서 국제적으로 통용되는 표준 방법을 따르는 것이 중요하며, 분석실에서는 신호 검출, 방해물질 보정, 검량선 작성, 검량 물질 등을 고려한 보정계수 등 다양한 인자를 고려해서 결과를 산출해야 할 것으로 본다. ☺

#### 참고문헌

1. Stacey P(2007). Analytical performance criteria, measurement of silica in air: reliability at new and proposed occupational exposure limit. J Occup Environ Health. D1-4
2. Madsen FA, Rose MC, Cee R. (1995) Review of quartz analytical methodologies: present and future needs. Appl Occup Hyg. 10(2): 991-1002
3. Ojima J.(2003) Determining of crystalline silica in respirable dust samples by infrared spectrophotometry in the presence of interferences. J Occup Health. 45. 94-103
4. NIOSH (1994) Manual of analytical methods (NMAM). Silica, crystalline by IR. Method 7602, Issue 2.