한국산업위생학회지 제13권 제1호(2003년 4월)
J Korean Soc Occup Environ Hyg 2003;13(1):90-97

# 주물사업장에서 발생하는 호흡성분진의 농도 및 석영함유량에 관한 연구

박용선 · 노영만‡ · 김현욱 · 한진구 · 안연순[1] · 강성규[1] · 김정만[2]

가톨릭대학교 예방의학교실 산업의학센터 · 한국산업안전공단 산업안전보건연구원[1] · 동아대학교 산업의학연구소[2]

## A Study of Respirable Dust Concentrations and Quartz Contents in Foundry

Yong-Sun Park · Young-Man Roh‡ · Hyun-Wook Kim · Jin-Gu Han · Yeon-Soon Ahn[1] · Seong Kyu Kang[1] · Jung Man Kim[2]

*Catholic Industrial Medical Center, The Catholic University of Korea · Industrial Health Research Institute, Korean Occupational Safety and Health Agency[1] Dong-A University, Insitute of Industrial Medicine[2]*

This study was performed to measure and evaluate the concentration of respirable dust and quartz content at molding and shakeout process in the foundry. The 129 samples in 30 foundries were collected using 10㎜ Dorr-Oliver nylon cyclone and analysed for quartz concent by Fourier Transform Infrared Spectroscopy.

The average quartz concentrations in the respirable dust was 0.0273㎎/㎥ and ranged from 0.0007 to 0.3757㎎/㎥. The average quartz concentrations of shakeout process was significantly higher than that of molding in the foundry. The average of respirable dust in foundry 1.2129㎎/㎥ and ranged from 0.1524 to 7.0428㎎/㎥. But there is no significant difference between molding and shakeout processes. The average contents of quartz for OEL-MOL was 2.25% and ranged from 0.05 to 32.79%. The non-compliance rates for quartz were 22.96% in Korea-OEL and 34.01% in ACGIH-TLV and NIOSH-REL, and 35.03% in OSHA-PEL. The airborne dust in the foundry was effectively controlled when local exhaust ventilation and/or wetting system were operated. The result of this study therefore showed that the engineering controls and periodic environmental surveillance in foundry will be very important for preventing the health effects of workers exposed to quartz.

*Key Words* : quartz, respirable dust, foundry operation, FTIR, silica

## Ⅰ. 서 론

주물은 약 5000년 전부터 전해오던 기술로써 초기에는 미술품, 일용품, 무기 등 비교적 단순한 제품을 제조하였으나 산업화가 이루어지면서 주물산업이 발달하게 되어 기계부속과 같은 정밀주물까지 만들게 되었고 현대 사회에서 가장 기초가 되는 산업으로 자리 잡게 되었다. 우리나라도 여기에 맞추어 1995년부터 약 160만톤의 주물을 생산하여 1990년대 이후에도 거의 변화 없이 생산을 하는 주물생산 주요 국가로 자리 매김하고 있다(강낙원 등, 2000).

주물은 선철이나 고철을 용해시켜 모래입자, 점결제, 수분, 첨가제를 섞은 주물사로 조형을 한 조형틀에 용탕을 주입시키고 주물사를 제거하는 탈사공정을 거쳐 제품을 가공하는 후처리까지를 일반적인 공정으로 보는데 이 때 유리규산, 호흡성분진, 금속성 흄, 유기용제, 고열, 진동, 일산화탄소, 전리방사선 등 많은 유해인자

접수일 : 2003년 4월 3일, 채택일 : 2003년 4월 10일
‡ 교신저자 : 노영만 (서울시 영등포구 여의도동 62번지 가톨릭대학교 산업의학센터
Tel : 02-3779-1408, Fax : 02-782-6017, E-mail : ymroh@catholic.ac.kr)

가 배출되며 유리규산 중 결정형 유리규산과 호흡성분진은 규폐증, 폐의 섬유화, 기도협착, 폐암 등을 유발 할 수 있고(Perrault et al. 1992. Burgess, 1995) 특히 유리규산에 의해 발생되는 규폐증은 진폐증의 하나로 유리규산 입자 중 호흡성 크기의 유리규산에 노출되었을 때 그 양과 관계가 깊으며(Weber & Banks, 1994; Balaan & Banks; 1992. Hogan, 1995) 초기 증상은 숨막힘, 기침, 가래, 피로와 같은 증상이 나타나고 말기에는 가슴이 아프고 혈담, 손톱이 파랗게 되며 신장병, 폐렴 등 다른 합병증으로 인하여 죽음에 이르게 한다(Cooper, 1993; Aplpaugh, 1988; Chen, 1992). 최근 들어 석탄광업에 종사하던 근로자에게서 많이 발생되던 진폐증이 이제는 제조업에서 종사하는 근로자들에게 증가하는 추세를 나타내고 있는 것으로 조사되어 그 심각성을 더하고 있으며(한국산업안전공단, 1991; Alpaugh, 1988) 이는 소음성 난청, 직업성요통과 더불어 우리나라에서 많이 발생하는 직업병 중 하나로 자리하고 있다(노동부, 2001).

우리나라는 광물성 분진을 총분진과 호흡성 분진으로 구분하여 허용기준을 따로 정하고 있으며 유리규산의 함유량에 따라 총분진을 1, 2, 3종 분진으로 다시 분류하는데 유리규산의 함유량이 30% 이상의 것은 1종 분진, 5%-30%는 2종 분진, 5% 미만인 분진은 3종으로 정하고 있다(노동부, 2002). 그 기준치는 각각 2, 5, 10㎎/㎥ 이다. 그리고 호흡성 분진으로 결정형 유리규산의 경우 석영은 0.1㎎/㎥, 크리스토바리이트는 0.05㎎/㎥, 트리디마이트는 0.05㎎/㎥로 그 허용농도를 각각 정하고 있으며(노동부, 2002) 이에 반해 미국 산업위생전문가협의회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH), 미국 산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety, NIOSH)에서는 0.05㎎/㎥, 미국 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)에서는 10㎎/㎥/(%$SiO_2$+2)로 석영의 허용농도를 각각 규정하고 있다(ACGIH, 2002. U.S Department of Labor, 1996).

이와 같이 인체에 커다란 악영향을 주는 유리규산은 주물사업장 각 공정 작업환경마다 호흡성 분진 중 규폐증을 유발하는 다량의 유리규산이 함유되어 있을 가능성이 높기 때문에(오세민 등, 1994) 이에 대한 정확한 연구와 올바른 평가, 적절한 정책 마련이 시급한 현실이다.

따라서 주물사업장을 대상으로 근로자들의 유리규산 및 호흡성 분진의 노출 수준과 환기시설 가동 및 습식작업 유무에 따른 유리규산의 농도를 평가하여 주물작업장의 유리규산 및 호흡성분진의 노출관리에 대한 대책을 세우는데 있어 근거자료를 삼고자 본 연구를 실시하였다.

## Ⅱ. 연구방법

### 1. 대상 및 공정

본 조사는 2001년 9월 12-28일, 그리고 2002년 6월 4-21일 동안 OO 주물단지 내에 있는 주물사업장 30개소를 대상으로 하였으며 주물사와 직접 관련된 조형과 형해체 공정을 대상으로 호흡성분진 시료를 포집하였다.

본 연구 대상인 주물사업장의 경우 선철과 고철을 전기용해로나 코크스용해로를 이용하여 금속을 용융시켰으며 조형을 만드는 조형작업은 주로 수작업과 다짐봉을 사용하는데 규산소다를 섞은 규사에 이산화탄소가스를 주입하여 고형화하는 이산화탄소 조형($CO_2$조형), 벤토나이트와 시콜을 규사에 섞어 일반 대기중에서 고형화 시키는 벤토나이트조형, 후란수지와 경화제를 규사에 섞어 고형화하는 후란조형 등으로 나누어진다. 용해로에 의해 만들어진 용탕을 조형물에 주입하는 주입공정은 주로 용해로에서 레들로 직접 작업자가 옮겨 담은 후 레들을 이동시키면서 주입을 실시하였고 주물이 식은 후 형해체는 대부분 햄머나 전동식 햄머드릴을 이용하여 일차 탈사를 하고 쇼트기에 넣어 주물에 붙어 있는 주물사를 완전히 제거한 후 연삭, 절단, 용접 등 마무리 작업을 거치는데 주물사업장의 규모가 작아 거의 모든 공정이 동일작업장에서 이루어지고 있었다.

### 2. 측정 및 분석방법

#### 1) 측정 방법

호흡성 분진은 10mm Dorr-Oliver nylon cyclone을 장착한 37㎜ closed-face cassette를 이용하여 폴리비닐클로라이드 멤브레인 필터(37㎜, 5㎛ pore size)에 포집하였고 이때 유량을 1.7 L/min으로 교정한 개인시료 포집기(AIRCHEK$^{TM}$52, SKC)를 사용하였다. 개인시료 포집은 작업자의 호흡영역에서 지역시료는 작업자가 작업을 하는 위치와 가까운 곳을 선정하여 포집하였다.

#### 2) 분석방법

호흡성분진 중 석영의 함유량을 파악하기 위해 간섭식 적외선 분광기(Fourie Transform Infrared Spectroscopy, FTIR, BIO-RAD, Model FTS-155, USA)를 사용하였으며 국내에서 사용된 분석방법을 인용하였다(최호춘 등, 1988; 정호근 등, 1989). 적외선 분광용 포타슘 브로마이드(Potassium Bromide, KBr, Aldrich Chemical Company.inc, USA)는 습기를 제거하기 위해 100 ℃에서 하룻밤 건조시킨 후 사용하였으며 시료의 전처리는 650 ℃의 머플로(Muffle furnace)로 2시간동안 PVC 멤브레인 필터 및 유기물을 도가니에서 회화시켰다(Freedman et al, 1974). 도가니 안에서 회화된 시료를 KBr 200㎎으로 15분간 혼합하여 13㎜ die로 펠렛(Pellet)을 만들었고 이 펠렛을 FTIR Spectrophotometer를 이용하여 1,000 ㎝$^{-1}$ - 400 ㎝$^{-1}$까지 주사하여 투광도의 스펙트럼을 얻은 후 799 ㎝$^{-1}$에서 흡수도를 측정하였다(그림1) (Pickard et al, 1985). 호흡성분진중 석영의 표준물질 제조는 석영 표준물질(Respirable $\alpha$-Quartz, #1878a, NIST, USA)을 KBr로 희석하여 제조하였다.

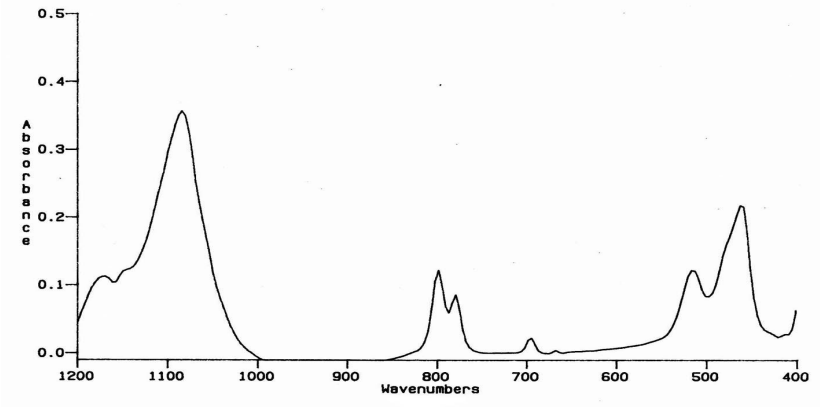


Figure 1. A typical absorbance band of quartz by FTIR.

## Ⅲ. 결 과

주물 사업장내 호흡성 분진 중 석영의 농도와 호흡성 분진의 농도를 누적분포도를 산출한 결과 그림 2와 3에서와 같이 각 대수 값들이 선형을 나타내면서 대수 정규분포를 하고 있었다. 이러한 결과를 토대로 호흡성 분진 중 석영의 농도와 호흡성 분진의 농도를 기하평균(Geometric Mean ; GM)과 기하표준편차(Geometric Standard Deviation : GSD)로 평가하였다.

표 1은 주물사업장의 조형과 형해체공정에서 호흡성 분진 중 석영의 농도를 나타낸 것인데 조형 공정의 유리규산 농도는 0.0206㎎/㎥로 형해체 공정 0.0426㎎/㎥ 보다 약 2배가 낮게 나타났으나 통계적으로 유의하지는 않았다.

표 2는 공정별 호흡성 분진의 농도를 나타낸 것으로 주물사업장내 전체 농도는 1.2129㎎/㎥이었으며 조형 공정에서는 1.1457㎎/㎥, 형해체 공정에서는 1.3258㎎/㎥로 조형 공정보다 형해체 공정에서 호흡성분진이 더 발생하는 것을 보여주고 있다($P<0.05$).

Table 1. Quartz concentration of the respirable dust in each operations in the foundry

| Operation | N | Concentration (㎎/㎥) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | GM* | GSD** | Range |
| Molding | 79 | 0.0206 | 3.8962 | 0.0007-0.3045 |
| Shakeout | 50 | 0.0426 | 3.7547 | 0.0014-0.3757 |
| Total | 129 | 0.0273 | 3.9988 | 0.0007-0.3757 |

* GM : Geometric Mean
** GSD : Geometric Standard Deviation

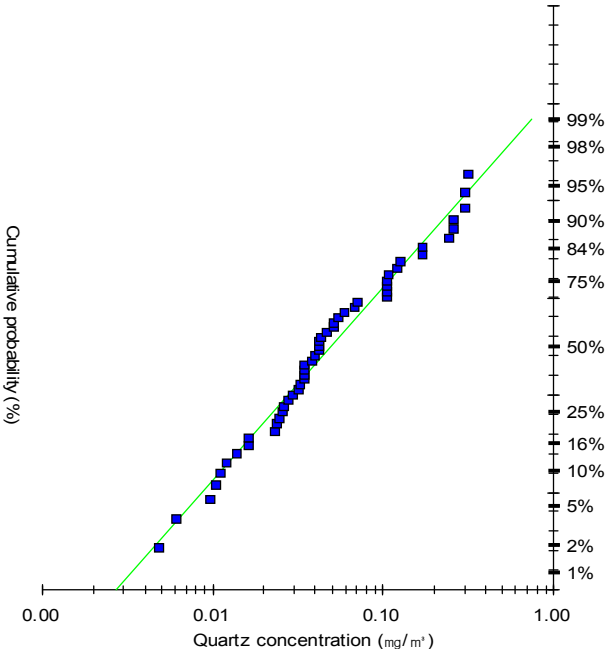


Figure 2. Cumulative distribution of quartz concentration(■) in respirable dust.

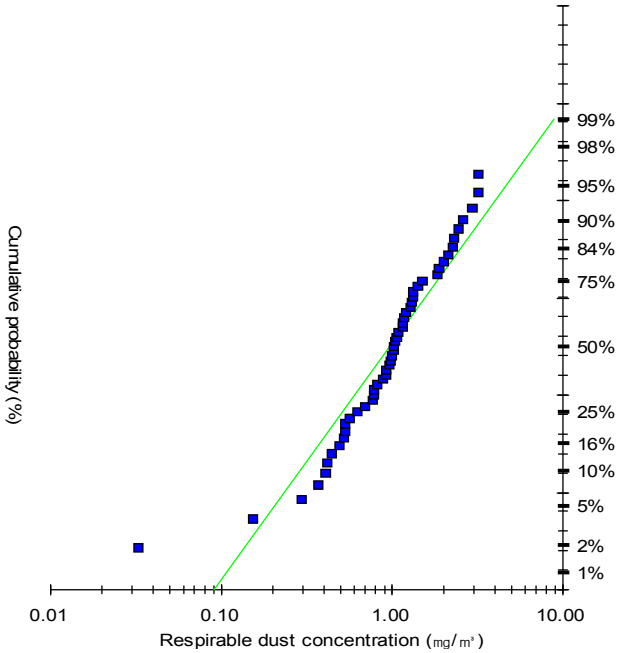


Figure 3. Cumulative distribution of respirable dust concentration (■) in personal filter samples.

Table 2. Concentration of respirable dusts by operation in personal samples

| Operation | N | oncentration (㎎/㎥) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | GM | GSD | Range |
| Molding | 79 | 1.1457[a] | 1.9271 | 0.3024-7.0428 |
| Shakeout | 50 | 1.3258[a] | 2.3071 | 0.1524-5.0683 |
| Total | 129 | 1.2129 | 2.0772 | 0.1524-7.0426 |

a : P<0.05 significant difference between molding and shakeout

표 3은 호흡성분진 중 석영의 함유량을 공정별로 나타낸 것으로 조형 공정에서는 1.80%가 형해체 공정에서는 3.21%가 각각 함유되어 있었고 이 또한 조형 공정보다 형해체 공정에서 호흡성 분진 중 석영이 많이 함유되어 있는 것으로 나타났으나 두 공정 간에는 유의한 차이는 없었다.

공정간 석영의 농도를 각 다른 노출기준치를 비교 해 본 결과(표 4) 우리나라 노동부에서 고시하고 있는 기준으로 보았을 때 조형 공정에서는 13.92%, 형해체 공정에서는 32.00%가 초과 되었고 전체적으로는 22.96%가 초과 되었다. 또한 ACGI의 TLV와 NIOSH 의 REL과 비교 했을 때 조형 공정에서는 24.05%, 형해체 공정에서는 44.00%, 전체적으로는 33.01%로 똑같은 수준으로 초과 되었으며 OSHA의 PEL과 비교 해 보았을 때 조형 공정에서는 24.05%, 형해체 공정에서는 46.00%, 전체적으로는 35.03%로 가장 높은 초과율을 보였다.

주물사업장내에 환기장치 설치 유무에 따라 석영의 농도가 차이가 있었는데 국소배기장치가 있는 경우 조형 공정과 형해체 공정에서 각각 0.0139㎎/㎥, 0.0186㎎/㎥가 검출되었고 전체 환기만 사용한 사업장의 경우 조형 공정은 0.0859㎎/㎥, 형해체 공정은 0.1006㎎/㎥가 검출되었으며 전체적으로 보았을 때 국소배기장치가 있는 사업장의 경우 0.0154 ㎎/㎥가 검출되었으며 전체 환기만을 사용한 사업장의 경우 약 6배 가 높은 0.0931㎎/㎥가 검출되었다. 이는 통계적으로 살펴보았을 때도 국소배기시설의 유·무에 의해 사업장내 전체 호흡성 분진 중 석영의 농도는 크게 차이가 있었으며(P<0.05) 공정간 유의성 검정결과 조형 공정에서 또한 유의하였다(P<0.05). 그러나 형해체 공정에서는 석영의 농도가 조형 공정 간의 차보다 크

Table 3. Weight percent of quartz in respirable dust analyzed by FTIR

| Operation | N | Weight percent (%) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | GM | GSD | Range |
| Molding | 79 | 1.80 | 3.44 | 0.05-39.17 |
| Shakeout | 50 | 3.21 | 3.17 | 0.05-32.79 |
| Total | 129 | 2.25 | 3.43 | 0.05-39.17 |

Table 4. The percentages of the air levels exceeding the TLV(ACGIH), REL(NIOSH) and PEL(OSHA), TLV(MOL) for quartz

| Operation | N | Percentage(%) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | %> | ACGIH TLV | %> | NIOSH REL | %> | OSHA PEL | %> | MOL* TLV |
| Molding | 79 | | 24.05 | | 24.05 | | 24.05 | | 13.92 |
| Shakeout | 50 | | 44.00 | | 44.00 | | 46.00 | | 32.00 |
| Total | 129 | | 34.01 | | 34.01 | | 35.03 | | 22.96 |

* MOL : Ministry of labor of Korea

Table 5. Comparison of quartz concentrations according to the installation of the general and local exhaust ventilation in foundry

(Unit :㎎/㎥)

| Operation | N | General ventilation | | | N | Local exhaust ventilation | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | GM | GSD | Range | | GM | GSD | Range |
| Molding | 23 | 0.0859[a] | 1.8908 | 0.0295-0.3045 | 24 | 0.0139[a] | 2.7047 | 0.0007-0.0419 |
| Shakeout | 24 | 0.1006 | 2.4303 | 0.0140-0.3757 | 13 | 0.0186 | 3.1963 | 0.0014-0.0757 |
| Total | 47 | 0.0931[b] | 2.1619 | 0.0140-0.3757 | 37 | 0.0154[b] | 2.8577 | 0.0007-0.0757 |

a : P<0.05 significant difference in molding

b : P<0.05 significant difference between general ventilation and local exhaust ventilation

Table 6. Comparison of quartz concentration by work type in foundry

| Operation | N | Wetted work | | | N | Dried work | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | GM | GSD | Range | | GM | GSD | Range |
| Molding | 27 | 0.0161[a] | 2.8377 | 0.0007-0.1047 | 20 | 0.0926[a] | 1.8589 | 0.0347-0.3045 |
| Shakeout | 11 | 0.0160 | 3.2220 | 0.0014-0.0678 | 26 | 0.0941 | 2.4645 | 0.0111-0.3757 |
| Total | 38 | 0.0161[b] | 2.9008 | 0.0007-0.1047 | 46 | 0.0935[b] | 2.1902 | 0.0111-0.3757 |

a : P<0.05 significant difference in molding
b : P<0.05 significant difference between wet work and dry work

게 나타났으나 유의하지는 않았다.

표 6은 주물사업장내에서 습식작업의 유무에 따라 발생되는 호흡성 분진 중 석영의 농도를 도식화 한 것인데 습식작업을 할 경우 조형 공정에서의 농도는 0.0161㎎/㎥, 형해체 공정에서의 농도는 0.0160㎎/㎥, 전체적인 농도는 0.0161㎎/㎥이었고 건식작업의 경우 조형 공정과 형해체 공정에서는 습식 작업보다 약 5.8배, 5.9배가 높은 0.0926㎎/㎥, 0.0941㎎/㎥가 각각 검출되었으나 통계적으로는 조형 공정에서만 유의 하였다(P<0.05). 또한 건식작업 시 호흡성 분진 중 석영의 농도는 습식 작업 보다 약 5.8배 가 높은 0.0935㎎/㎥이었으며 통계적으로 유의한 결과를 보였다(P<0.05).

조형 형태에 따른 호흡성 분진 중 석영의 농도는 이산화탄소 조형 시 석영의 농도는 0.0316㎎/㎥, 벤토나이트 조형 시 석영의 농도는 0.0498㎎/㎥로 나타나 벤토나이트 조형 시 석영의 농도가 높게 나타났으나 통계적으로는 유의하지 않았다(표 7).

호흡성 분진의 농도를 독립변수로 하고 호흡성 분진 중 석영의 농도를 종속변수로 하여 회귀분석을 한 결과 회귀방정식은 lnY(호흡성 분진 중 석영의 농도, ㎎/㎥) = 0.2434 lnX(호흡성 분진의 농도, ㎎/㎥) + 1.0692 이었고 호흡성 분진의 농도와 호흡성 분진 중 석영의 농도의 상관계수는 0.2131로 상관관계가 크지 않았다(그림 4).

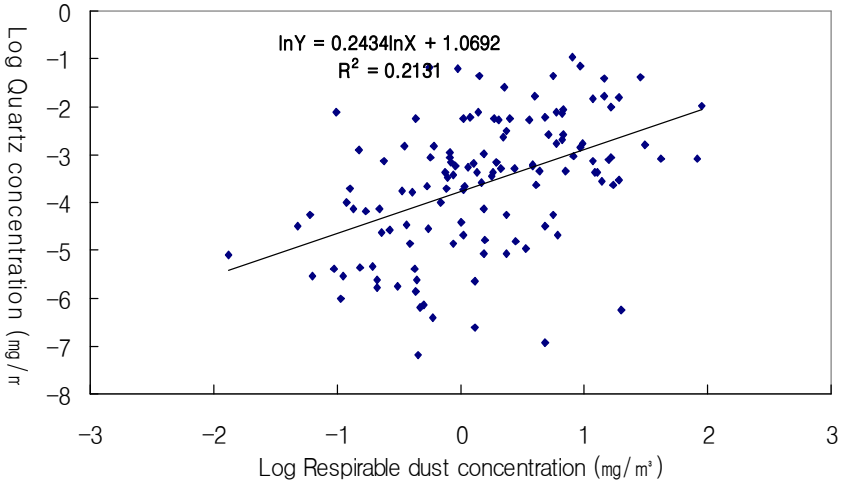


Figure 4. Linear regression between respirable dust concentration and quartz concentration in foundry

## Ⅳ. 고 찰

분진에 의한 장해는 작업환경중의 분진의 입경분포에 따라 크게 영향을 받는다는 것은 널리 알려진 사실이다. 진폐증을 일으킬 수 있는 분진은 인체의 폐포 조직에 도달할 수 있는 크기의 분진이어야 하는데 이러한 입경의 분진을 호흡성 분진이라 한다. 일반적으로 호흡성 분진은 입경이 10㎛ 이하인 분진을 말하며 ACGIH에서는 기하 평균입경이 4.0㎛인 분진을 호흡성 분진이라고 정의하고 있다(ACGIH, 1993). 즉, 호흡성 분진 측정 시 ACGIH 및 OSHA에서 권고하는 10㎜ nylone cyclone을 사용해야 하는데 이는 사람의 폐와 유사하게 작용하도록 고안되어 있어 이 분별기를 통과한 분진이 실제로 폐포에 도달하는 분진이라고 할 수 있기 때문이다. 이러한 호흡성 분진에 포함된 유리규산은 자연 상태에서 대부분 석영으로 존재하기 때문에 산업보건 분야에

Table 7. Comparison of quartz concentration by molding form in foundry

| Operation | N | Concentration (㎎/㎥) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | GM | GSD | Range |
| $CO_2$ molding | 31 | 0.0316 | 1.3060 | 0.0014-0.3757 |
| Bentonite molding | 53 | 0.0498 | 3.0926 | 0.0007-0.3154 |
| Total | 84 | 0.0421 | 3.5680 | 0.0007-0.3757 |

서는 주로 석영에 관한 농도로 평가 되고 있으며(정호근 등, 1989) 직업적 노출로서 유리규산이 정량에 대한 평가는 IR과 XRD 방법이 가장 적절한데 본 연구에서는 IR방법을 사용하였다. 이 밖에도 분석방법에는 비색법(colorimetric method), 분말 X선회절분석(powder XRD), 원자흡수분광법(Atomic Absorption), 핵자기공명법(Nuclear Magnetic Resonance), 현미경법(Microscopy Method) 등이 있으며 호주, 영국, 미국 등에서는 시료의 전처리가 필요 없는 직접필터법(Direct on Filter Technique, XRD & IR)을 사용하기도 한다(Madsen et al, 1995).

본 연구에 사용된 FTIR에서는 석영을 검출할 수 있는 세 종류의 피크 799, 779, 695 $cm^{-1}$ 중에서 감도가 가장 좋은 799$cm^{-1}$을 선택하여 정량하였으며 그 결과 호흡성 분진 중 석영의 평균 농도는 27.3$\mu g/m^3$이었으며 공정별 농도는 조형 공정에서 20.6$\mu g/m^3$ 이었고 형해체 공정에서는 42.6 $\mu g/m^3$ 이었다. 이는 13개의 주물사업장을 대상으로 지역시료의 석영농도에 대한 피영규 등(1997)의 연구결과인 조형 공정 20.32$\mu g/m^3$, 형해체 공정 30.91$\mu g/m^3$와 유사하였고 4개의 주물사업장을 대상으로 한 Perrault의 연구결과 조형 공정 20$\mu g/m^3$, 형해체 공정 40$\mu g/m^3$와도 유사함을 보였다(Perrault et al, 1989).

호흡성 분진의 평균 농도는 1.21$mg/m^3$로 이는 독일의 여러 주물사업장에서 채취한 호흡성 분진의 농도 0.8$mg/m^3$와 Perrault의 1.08$mg/m^3$, 피영규의 1.06$mg/m^3$, 미국 주물사업장의 0.9$mg/m^3$와 유사했으며 공정별 조형 공정 1.15$mg/m^3$, 형해체 공정 1.33$mg/m^3$ 또한 불가리아의 강철주물사업장의 조형공정 1.2$mg/m^3$, 형해체 공정 1.7 $mg/m^3$, 피영규의 조형 공정 0.85$mg/m^3$, 형해체 공정 1.20$mg/m^3$과도 비슷한 결과를 보였으며(IARC, 1987. Perrault et al, 1992. Oudiz & Brown, 1983. 피영규 등, 1997) 핀란드의 강철 주물사업장의 조형 공정 0.27 $mg/m^3$, 형해체 공정 0.53$mg/m^3$와 비교 했을 때 본 연구의 결과가 높게 평가 되었다(Siltanen et al, 1976). 그러나 조형 공정과 형해체 공정을 비교 했을 때 형해체 공정에서 호흡성 분진이 더 많이 발생되고 있는 양상을 보이고 있었다.

호흡성 분진 중 석영의 함유량은 조형 공정에서는 1.80%, 형해체 공정에서는 3.21%로 형해체 공정이 더 높게 나왔으며 정지연의 연구 결과 조형 공정 1.52%, 형해체 공정 3.91%와 비교 했을 때 유사한 결과가 나왔으며(정지연 등, 1995) 다른 국외 연구 결과와 비교 해 볼 때 전체적인 석영의 함유량은 6.0%로 본 연구의 결과 2.25%보다 높게 나왔음을 보여 주고 있는데(Boone & Houten, 1976) 이는 나라별 주물사의 조성, 작업방법 등에 기인하는 것으로 사료된다.

국가별 호흡성 분진 중 석영의 기준은 서로가 조금 씩 다른데 우리나라 노동부에서 고시하고 있는 기준은 0.1$mg/m^3$로 본 연구에 적용하면 129개의 공정 중 28개가 초과(22.96%) 되었다. 그리고 ACGIH와 NIOSH의 기준치에 적용하면 조형 공정은 41개가 초과(34.01%)되었으며 OSHA의 기준에 적용 했을 때 42개가 초과(35.01%) 되었다. 우리는 현재 실행되고 있는 외국의 기준과 비교 했을 때 이와 같은 결과가 나타나는 우리나라 평가방법을 현재 미국에서 허용농도를 더 엄격히 해야 한다는 의견에 맞추어 평가기준을 다시 한번 검토해보아야 함을 보여주고 있다.

주물사 분진 중 호흡성 분진과 여기에 포함 되어 있는 석영의 농도를 감소시키기 위한 방법에는 여러 가지가 있을 수 있으나 본 연구에서 살펴본 바로는 국소배기시설의 확충과 작업장을 습식화 하여 작업을 하는 경우가 있다. 국소배기 시설을 이용하여 분진을 집진하는 경우 전체환기를 이용 할 때보다 호흡성 분진 중 석영의 농도가 약 6배가 낮았으며 습식작업의 경우 건식작업 보다 호흡성 분진 중 석영의 농도가 약 5.8배 낮았다. 그러나 앞에서 말했듯이 우리나라 주물사업장은 대부분 국소배기 시설이 제대로 갖추어져 있지 못하고 국소배기시설이 설치되어 있더라도 유지가 어려워 그 성능을 기대하지 못하며 실제 규조토 가공업체에서 국소배기시설 성능평가를 실시했는데 측정한 국소배기 시설의 제어속도가 최소 제어속도에 미달하였다(정회경 등, 1994).

조형의 종류는 용탕의 온도와 제품의 정밀성 등에 따라 정해지는데 일반적으로 $CO_2$ 조형과 후란 조형, 벤토나이트 조형을 들 수 있고 이는 각 규사에 첨가되는 물질에 의해 정해지며 위에 열거한 순서대로 그 점결성이 강하여 온도가 높은 용탕에 견딜 수 있고 정밀한 제품을 만들 수가 있다. 조형 형태에 따른 호흡성 분진 중 석영의 농도의 차이는 $CO_2$ 조형 0.0316$mg/m^3$, 벤토나이트 조형 0.0498$mg/m^3$로 벤토나이트 조형에서 농도가 더 높았으나 유의하지는 않았다. 이는 두 조형작업 형태가 비슷하고 대부분 동일한 작업자가 작업량에 따라 다른 조형물을 동시에 생산하며 그 작업들이 한 장소에서 이루어지기 때문이라 사료된다.

주물사업장에서 사용되는 주물사에는 유리규산이 조형 공정에서 83.21%, 형해체 공정에서 74.06% 함유하고 있다는 연구 결과가 있는데(피영규 등, 1998) 이러한 주물사에 의해 발생된 호흡성 분진은 다량의 유리규산이 포함되어 있고 그 양에 따라 유리규산의 양도 증가 하며 본 연구에서는 전체 호흡성 분진 1.1229$mg/m^3$ 중 석영이 0.0273$mg/m^3$ 포함 되어 있었고 위와 같은 양상은 통계적으로도 유의하였다($P<0.05$).

결정형유리규산은 800-1,000 ℃에서 가열되면 tridymite로 변성되며 1,100-1,400 ℃에서는 crystoballite로 변성 될 수 있음(Jones, 1983)을 감안해 볼 때 주로 고온에서 이루어지는 주물사업장의 상황에서도 tridymite 또는 crystoballite가 발생할 수 있고 진폐증 발생 분진이 총분진이 아닌 호흡성분진과 관계가 있는 사실로 미루어 보아 유리규산을 중량분석법 또는 상대농도법으로 결과 또는 추정하여 총분진의 노출기준에 적용하는 방법(작업환경측정기술협의회, 1995)은 적절하지 못하며 결정형 유리규산의 성분별 정량분석 및 호흡성분진의 정량분석을 동시에 실행해야 유리규산 농도의 적절한 평가와 대책을 세울 수 있을 것이다.

## V. 결 론

본 연구는 2001년 9월 12월-28일, 2002년 6월 4월 - 21일 동안, 2회에 걸쳐 ○○단지에 위치한 30개소 주물사업장을 대상으로 하여 각 공정에서 발생되는 호흡성 분진과 호흡성 분진 중 석영의 농도를 평가 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 호흡성 분진 중 석영의 평균 농도는 0.0273㎎/㎥ 이었고 조형 공정은 0.0206㎎/㎥, 형해체 공정은 0.0426㎎/㎥ 이었으며 호흡성 분진의 평균 농도는 1.2129 ㎎/㎥, 조형 공정은 1.1457㎎/㎥, 형해체 공정은 1.3258㎎/㎥ 이었다. 이는 모두 조형 공정 보다는 형해체 공정에서 높은 농도를 나타내었다.

2. 호흡성 분진 중 석영의 평균 함유량은 2.25% 이었고 조형 공정은 1.80%, 형해체공정은 3.21% 이었으며 조형 공정 보다 형해체 공정에서 약 2배정도 높았다.

3. 우리나라 노동부의 석영노출기준 초과율은 22.96% 이었고, ACGIH의 TLV와 NIOSH의 REL 초과율은 34.01%, OSHA의 PEL 초과율은 35.03% 이었다.

4. 국소배기가 설치되어 있는 사업장의 경우 호흡성 분진 중 석영의 평균 농도가 0.0154㎎/㎥인 반면 전체 환기를 이용한 사업장의 경우 0.0931㎎/㎥로 보다 높았으며 습식작업의 호흡성 분진의 농도는 건식작업보다 농도가 약 5.8배 낮았다.

5. 주물사업장내에서 발생하는 분진 중 호흡성 분진의 농도가 높을 경우 함유된 석영의 농도 또한 높았으며 그 회기방정식은 lnY(quartz concentration in respirable dust,㎎/㎥) = 0.2434 lnX(concentration of respirable dust,㎎/㎥) + 1.0692 이었다.

이러한 결과로 주물사업장에서 발생하는 유리규산분진의 농도를 평가하기 위해서는 호흡성 분진중의 유리규산 농도를 측정하여야 하며, 국소배기장치의 철저한 관리 및 유지 그리고 작업방법을 가능한 범위 내에서 분진의 발생을 억제하는 습식작업이 유지되어져야 한다.

## REFERENCES


강낙원, 김영석, 오덕수. 주조공학. 보성각; 2000; 91-129

노동부. 2000 산업재해분석. 노동부; 2001; 286

노동부. 화학물질 및 물리적인자의 노출기준, 노동부 고시 제 2002; 8 :110-111

노동부. 산업별 사업체수 및 근로수. 노동통계연감, 1992; 76-141

오세민. 일부 요업사업방의 분진, 결정형 유리규산 및 납의 폭로에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1994;4(2).

작업환경측정 기술협의회. 작업환경측정 종합 연보. 1995; 126

정지연, 이윤근, 장순문, 신용철. 주물사업장의 분진폭로 실태와 입경분포 특성, 서울대학교 10주년기념 학술논문집 1995; 172-186

정호근, 최호춘, 김해정. 호흡성분진 중 유리규산 농도 분석법. 근로복지공사 중앙병원부설 직업병연구소. 직연보 1989; 2-89-2

정회경, 김지용, 정해관, 임현술. 모 규조토 가공업체의 규조토 분진 폭로평가 및 개선방향에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1994; 4(1):81-95

피영규, 김현욱, 노영만, 원정일. 제조업에서 발생하는 호흡성분진중 XRD와 FTIR를 이용한 결정형유리규산 농동의분석-요업, 석재, 콘트리트, 유리, 연탄 및 기타업장. 한국산업위생학회지 1999; 9(1):99-111

피영규, 노영만, 원정일, 김용우. 주물사업장 주공정별 발생하는 분진의 석영함유량 및 크기분포 연구-주물사업. 한국산업위생학회지 1998; 8(1):50-66

피영규, 노영만, 이광묵, 김형아, 김용우, 원정일, 김현욱. 주물사업장 주공정별 발생하는 분진의 석영함유량 및 크기분포 연구. 한국산업위생학회지 1997; 7(2):196-208

한국산업안전공단, 업종별 작업환경 관리기법. 한국산업안전공단; 1991; 221

최호춘, 천용희, 김해정, 이정주. 간섭식 적외선 분광기에 의한 태백지역 석탄광의 호흡성 분진 중 석영, 운모 및 장석의 정량분석. 대한예방의학회지 1988; 21(2):271-283.

ACGIH, Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents Biological Exposure Indices. 2002; 52.

Alpaugh E. L. Particulates in Fundamentals of Industrial Hygiene. 3rd ed., by

B.A. Plog, Chicago, Illinois, National Safety Council, 1988;128.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Indices, ACGIH; 2002

Burgess W. A Foundry Operation in Recognition of health hazards in industry , 2th ed, John Wiley & Sons, Canada; 1995. p. 106-139.

Boone CW, Houten RW. Comparison of foundry dust evaluation by various methods. Am Ind Hyg Assoc J 1976;537-540.

Chen, J. et al. : Mortality among Dust-exposed Chinese Mine and Potter Workers. J. Occup. Med. 34(3):311-316.

Cooper TC, MC. Gressel, PA. Froehlich, PE. Caplan, RL. Mickelsen, D. Valiante, P. Bost. Successful Reduction of Silica Exposure at Sanitory Ware Pottery. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1993; 54(10):600-606.

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.

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.

International Agency for Research on Cancer. IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans: silicates. Vol 42. Lyon, France, World Health Organization, IARC, 1987;49-51.

Jones RN. Silicosis in Environmental and Occupational Medicine. ed. by W.N. Rom, Little Brown and Company, Boston, 1983;197.

Madsen FA, Rose MC, Cee R. Review of quartz analytical methodologes, present and future needs Appl Occup Environ Hyg 1995;10(12);991-1001.

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.

U.S Department of Labor. Silica dust exposure can cause silicosis fact sheet No. OSHA 1996;96-154.