

일부 요업사업장의 분진, 결정형 유리규산 및 납의 폭로에 관한 연구

한국산업안전공단 산업보건연구원

오세민 · 신용철 · 박동욱 · 이나루 · 박승현 · 이광용 · 문영한

— Abstract —

A Study on Worker's Exposure to Dust, Crystalline Free Silica and Lead in Ceramic Industry

Se-Min Oh, Yong-Chul Shin, Dong-Wook Park, Na-Roo Lee,
Sueng-Hyun Park, Gwang-Yong Yi, Young-Hahn Moon

Industrial Health Research Institute, Korea Industrial Safety Corporation, Incheon, Korea

In some ceramic industries, worker exposure to dust, crystalline free silica and lead were determined and evaluated. The conclusions are as follows.

1. Crystalline silica in bulk samples was 10.5 % in sanitary ware industry, 9.4 % in tile industry, and 2.1 % in ceramic insulator industry respectively. The free silica content of air filter sample was 8.03 % in table ware industry, 5.59 % in sanitary ware industry, and 1.32 % in ceramic insulator industry. Because silica content in ceramic dust is relatively high, it is should be considered silica as important factor in evaluating for ceramic industry.

2. The silica contents in dust from tile, sanitary ware and table ware industries are above 5%, it should be classified as "Type" 2 dust.

3. The airborne concentration of respirable crystalline silica was 27.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in a sanitary ware factory and 5.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in a ceramic insualtor factory. Three of ten samples sampled the above factories were exceeded the occupational exposure levels, 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

4. Geometric mean(GM) of total dust in 11 factories was 1.00 mg/m^3 , and GM of respirable dust concentration in 5 factories was 0.33 mg/m^3 . Sanitary ware industry had the highest concentration of total dust, 1.62 mg/m^3 , and of respirable dust, 0.88 mg/m^3 .

5. Average lead concentration in air was 0.05 mg/m^3 in glazing process of 2 factories manufacturing table ware. Five of ten sample(50%) were exceeded 0.05 mg/m^3 . Therefore lead exposure in pottery industry should be considered as important problem.

I. 서 론

요업은 점토를 원료로 하여 이것을 소성하여 제품을 만드는 산업을 말하였으나, 현재는 그 범위가 넓어져서 비금속 무기원료를 원료로하여 제품을 만드는 산업까지 총칭하므로, 생산되는 제품의 종류도 다양하여 이루 헤아릴 수 없이 많다. 따라서 요업을 전형적인 요업과 신요업체공업으로 나누기도 하는데, 전형적인 요업에 속하는 것이 도자기, 내화물, 열재 등이 여기에 속하고, 자성체(磁性體), 유전체(誘電體), 반도체, 초경재료(超硬材料), 결정화유리 등이 신요업체공업에 속한다.

도자기는 토기에 유약을 입혀 소성한 것을 보통 말한다. 도자기의 분류는 나라에 따라서 또는 학자에 따라서 다르나 일반적으로 원료성분과 소성상태에 따라 분류되며 우리나라에서는 일반적으로 도자기라고 하면 자기, 도기, 석기, 토기의 4종류로 크게 나눈다. 현재 생산되고 있는 요업제품은 매우 다양하나 대표적인 것은 식기류, 위생기, 타일, 단열재, 파이프, 벽돌 등을 들 수 있다.

우리나라의 도기, 자기 및 토기 제조업체수 1992년을 기준으로 273개 업체에서 13,911명의 근로자가 종사하고 있으며, 이 중에서 근로자 7,967명이 100인 이상의 사업장에서 작업하고 있고, 나머지 5,944명은 50인 미만의 영세한 작업장에서 작업하고 있다. 특히 남자에 비해 여자 종사자의 수가 많아 타 산업과 비교가 된다(노동부, 1992.).

요업 및 토석제품 제조업체에서의 주요 유해인자는 광물성 분진, 소음, 안료분진, 유약중의 연, 유기용제, 고열등으로 알려져 있다. 이 중 요업분진은 유리규산 함량이 높아 이에 의한 규폐증이 발생할 잠재적 위험도가 크다고 보고되어 있다. (한국산업안전공단, 1991, Alpaug, 1988, Burgess, 1981).

최근 광업에서의 진폐증 유소견자의 발생율은 줄어드는 대신 제조업종에서 계속 증가하는 추세를 나타내고 있는 것으로 조사되고 있는데(대한산업보건협회, 1990), 92년도 특수건강진단결과 비금속광물제품제조업으로 분류되는 요업등에서 78명이 보고되어 조립금속제품 제조업의 93명에 이어 두번째로 가장 많이 나타내고 있다(노동부, 1993).

한편 일부 공정에서 유약 등과 같이 납을 함유하

고 있는 원료를 사용하고 있어 근로자가 납에 노출되어 이에 의한 건강장해가 일어날 수 있다고 한다. 그러나 일반적으로 요업에서 납노출에 의한 위험성을 간과하고 있어 이 업종에서 납노출에 대한 평가의 필요성이 있다고 판단된다. 따라서 본 연구의 목적은 요업중 전형적인 일부 요업 사업장을 대상으로 근로자의 총분진과 호흡성분진의 노출수준을 평가하는 동시에 근로자의 결정 유리규산의 노출 농도를 평가하고, 생산되는 제품에 따라 결정 유리규산의 함량에 있어 차이가 있는지를 보고, 이와 함께 근로자의 납 노출정도를 평가하여 근로자의 건강장해 예방을 위한 기초자료로 제시코저 하였다.

II. 대상 및 방법

1. 대상

연구대상 사업장은 100인 미만의 사업장 3개소, 100인 이상 200인 미만 사업장 6개소, 200인 이상의 사업장 2개소등 총 11개 사업장을 대상으로 근로자의 분진, 유리규산, 납 폭로실태를 조사하였다.

2. 방법

1) 공기중 총분진 및 호흡성 분진 농도

공기중 총분진의 농도측정은 미국국립산업안전보건연구소(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)의 공정시험 "Method 0500" (NIOSH, 1984)에 따라 시료를 포집하였다.

개인용 시료포집기(personal air sampler, MSA Model Flow-Lite U.S.A)를 이용하여 사용 전후에 유량보정계로 유량을 보정한후, filter holder에 polyvinyl chloride(PVC) filter(직경 37mm, 공극크기 0.5μm)를 장착시켜 1.8~2.5 L/min의 유량으로 5-7시간 동안 개인의 호흡위치에서 시료를 포집하였다.

호흡성분진은 NIOSH 공정시험법 "Method 0600" (NIOSH, 1984)에 따라 측정하였다. 즉, 10mm-nylon cyclone을 시료채취기에 부착시켜 PVC filter(직경 37mm, 공극크기 0.5μm)에 분당 1.7-1.8liter의 유량으로 5-7시간 동안 근로자의 호흡위치에서 채취하였다.

분진의 농도만을 측정하기 위해서는 습도변화에 따른 중량 변화가 비교적 적은 glass fiber filter를 사용하면 좋으나 분진중 유리규산 함유량을 분석해야 하므로 PVC filter를 사용하였다. 여지의 수분 함량에 따른 오차를 줄이기 위해 포집전과 포집후의 여지를 desiccater에 넣어 24시간 건조시킨 후 0.01mg 까지 잴수 있는 천평(독일, Sartorius Model 2000D)로 평량하여 분진농도를 구하였다.

2) 분진중의 유리규산의 양의 분석

유리규산의 측정은 NIOSH 공정시험법 "Method 7602" (NIOSH, 1984)를 이용하였으며 분진을 함유한 filter 시료와 고형시료를 도가니에 넣어 600℃에서 2시간 동안 가열 회화시킨 후 회화된 재에 KBr 300mg을 섞어 막자사발에 곱게 간 다음 7mm die를 사용하여 만든 Pellet을 FTIR (Fourie Transfrom Infrared) Spectrophotometer(독일, Bruker IFS 66)를 이용하여 분석하였다. 이때 Sepctrum의 800cm⁻¹에서 유리규산의 흡수도를 측정하여 표준곡선에 맞추어 시료중의 유리규산의 농도를 산출하였다.

3) 납 (Pb)

공기중 납의 측정은 미국 NIOSH의 공정시험법 "Method 7300" (NIOSH, 1984)을 이용하여 측정하였다. cellulose ester membrane filter (직경 37mm, 공극크기 0.8μm)에 개인용 시료펌프를 연결하여 약 2 Lpm의 유량으로 시료를 포집한 후 이 시료를 질산과 과염소산 혼합액(4:1)으로 회화시킨 후 원자흡광광도계(AAS, Varian 300, Australia)를 이용하여 분석한후 공기중 농도를 산출하였다.

"Method 7300"은 ICP(Inductively Coupled Plasma)를 이용하여 한개 시료에서 여러 금속을 분석 할 수 있는 방법으로 제시되어 있고, AAS를 이용하여 여러 금속을 함께 분석하고자 할 때에도 "Method 7300"의 회화과정을 거치도록 권고하고 있다. 따라서 이 방법에 따라 공기중 금속시료가 포집된 cellulose ester membrane filter를 질산과 과염소의 혼합액으로 열교반기 위에서 회화시켜 분석하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 분진 및 유리규산 폭로농도 및 평가

1) 건강장해 및 허용기준

도자기 제조작업은 습식공정 이외의 공정에서 정도의 차이는 있으나 대부분이 광물성분진을 발생함으로써 문제가 된다.

도자기 제조작업의 주요 원재료는 규산염 등의 광물이기 때문에 작업환경중 분진에는 다량의 유리규산이 함유되어 있을 가능성이 있다. 결정형의 규산을 함유하는 분진에의 폭로는 규폐증과 관련이 있다. 초기 단계에서 규폐증은 X-ray 상으로 폐에 scarring이 보인다. 이때는 신체상의 증상은 없는 상태이다. 질환이 진행됨에 따라 빈번한 마른 기침, 숨막힘(shortness of breath), 혈떡임(wheezing), 피로 등의 증상이 나타난다. 이 증상은 보다 악화되어 호흡곤란, 신장병, 폐렴, 또는 다른 합병증으로 인하여 죽음에 이르게 된다(Cooper 등, 1993, Aplapaugh 등, 1988, Chen 등, 1992).

한편 실리카와 폐암의 연관성에 대해 많은 연구가 진행되어 왔으며 많은 연구자에 의해서 이의 높은 상관성이 있음이 증명되었다(Thomas, 1987, Forastiers, 1986, NIOSH, 1992).

우리나라에서는 광물성 분진을 호흡성 분진과 총분진으로 구분하여 허용기준을 정하고 있다(노동부, 1991). 광물성 분진을 제1종 분진과 제2종 분진, 제3종 분진으로 구분하고 허용기준은 각각에 대해 달리 설정되어 있다. 유리규산 30% 이상의 것은 제 1종 분진, 5% - 30% 인 분진은 제2종 분진, 5% 미만인 분진은 제 3종 분진에 속한다. 총분진 허용농도의 경우 제1종 분진은 2mg/m³, 2종 분진 5mg/m³, 제3종 분진 10mg/m³ 으로 설정되어 있다. 이와 아울러 각 군에 해당되는 분진의 종류를 열거하고 있다.

요업제품의 원료로 사용되는 고령토(kaolin) 및 규조토(diatomaceous eath) 등은 제 3종 분진으로 규정되어 있으나 요업에서의 총분진의 허용기준을 적용하는데는 모호한 점이 있다. 도자기 등의 요업제품은 유리규산의 함량이 비교적 높은 것으로 보고되어 있고 이 업종에서 직업병 발생수가 타 제조업종에 비해 많은 것으로 보고되어 있기 때문에 분진의 유리규산 함량이 크게 영향을 주는 것으로 판단된다. 분진의 특성은 유리규산 함량에 따라 진폐

중 등의 호흡기계 질환을 일으키는 정도가 크게 좌우되므로 유리규산의 함량의 영향을 이와 같이 대략적으로 반영하는 것은 부적합한 것으로 보인다.

우리나라의 호흡성분진에 대한 허용농도는 분진종류에 따라 설정되어 있다. 이중 중요한 것은 결정형의 실리카에 대한 것이고 이에 해당하는 광물질인 석영은 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$, 그리고 tridimite와 cristobalite가 $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 정하고 있다. 따라서 호흡성분진의 경우 분진중 유리규산 함량과 독성이 허용기준의 설정에 중요한 요소로 작용한다.

미국 미국정부산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)의 광물성 분진의 Threshold Limit Values(TLVs)는 우리나라와 유사하게 설정되어 있다(ACGIH, 1993). 유리규산의 허용기준은 두 경우 모두 호흡성 분진으로 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 이다. 그리고 이 협의회에서는 비결정형의 실리카인 규조토(uncalcined), 퇴적 실리카(precipitated silica), 실리카 흙 및 실리카젤은 유리규산이 1% 미만인 경우 총분진으로 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 정하고 있다. 결정형의 실리카인 석영과 tripoli는 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$, 이보다 독성이 큰 것으로 알려져 있는 tridimite나 cristobalite는 호흡성분진으로 $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 정하고 있다. 한편 우리나라의 허용기준에는 fused silica는 결정형으로 분류되어 있는데 ACGIH에서는 비결정형으로 분류되어 있다. 이 물질은 비결정형으로 분류되어야 할 것이다.

따라서 앞에서 언급한 내용을 언급하면 미국 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)에서는 근로자의 폭로평가시 SiO_2 함량을 분석한 다음 이 값을 허용기준을 구하는 공식에 적용시켜 구한 허용기준과 비교한다. 우리나라와 미국 ACGIH에서는 유리규산이 일정한 함량을 넘으면 분진의 종류에 따라 그 허용기준이 설정되어 있어 이것과 비교 평가할 수 있다.

2) 요업 분진중 유리규산 함량

앞에서 언급한 바와 같이 분진중 결정형의 유리규산 함량이 분진에 대한 근로자의 폭로 평가에 있어 기초가 되는 중요한 인자이다. 도자기 및 요업제품의 대표적인 원료인 SiO_2 함량은 점토(Clay) 10-20%, 장석(feldspar) 12-25%, 부싯돌(flint) 100%, 석영(quartz) 100% 등이다(Alpaugh,

1988, Burgess, 1981 and International Labour, 1983).

이와 같이 도자기 원료의 SiO_2 함량이 높으므로 제조과정중에 공기중으로 비산되는 분진의 SiO_2 함량이 높으리라 짐작된다. 인체에 대한 유해성 측면으로 볼때 중요한 것은 결정형의 실리카 함량이다. 원료중 결정형 실리카의 함량이 요업분진의 유해성 평가에 가장 중요한 인자가 된다.

근로자의 유리규산 폭로농도는 4개사업장을 대상으로 측정 하였으며, 결과는 Table 1 및 Fig. 1과 같다. 총분진 시료의 결정형 실리카를 정량하여 공기중 농도를 구한 결과 전체 평균농도(GM)는 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 위생도기 생산업체의 농도는 $86.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높은 수준을 보였고, 단열재를 생산하는 업체는 $46.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였다. 그리고 생활도자기를 생산하는 두 업체는 같은 계열의 사업장으로서 공정이나 작업환경조건이 유사한 사업장으로 두 사업장의 농도는 서로 비슷하여 19.9 및 $26.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 타사업장보다 낮은 수준이었다.

Table. 1. Airborne Crystalline Silica Concentration by Factory and Product

Factory Product	Total Dust			Respirable Dust		
	N	GM	GSD	N	GM	GSD
TS Insulator	7	45.7	4.2	5	5.8	11.2
KS Table Ware	6	19.9	4.1	-	-	-
KSC Table Ware	5	26.3	4.9	-	-	-
SR Sanitary Ware	8	86.2	6.2	5	27.9	10.2

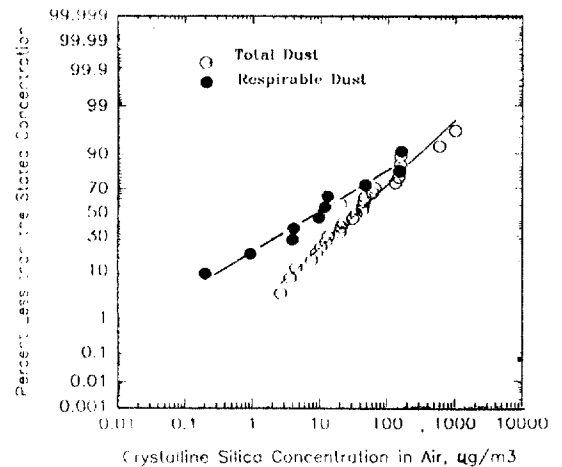


Fig. 1. The distribution of airborne crystalline free silica concentration.

호흡성 결정형 실리카의 경우 단열재와 위생도기를 생산하는 두 사업장에서 측정하였으며 각각의 평균이 $5.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 $27.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도치를 보였고 전체 평균농도(GM)는 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 허용기준 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 낮았다. 그러나 전체 시료 10개중 시유 공정과 정형공정에서 채취한 3개 시료는 허용기준을 초과하는 수준이었다. Table 2는 공기중 총분진 및 호흡성분진을 채취한 시료 분진량을 구한후, 그 중에 함유된 결정형 실리카 함량을 나타낸 것이다. 생활도자기의 경우 $8.03\pm 4.80\%$, 위생도기 시료는 $5.59\pm 3.69\%$ 의 함량을 보였다. 단열재 시료의 경우 이상치(outliers)가 있는 것으로 짐작되어 이상치를 검정하는 Grubbs test(Grubbs, 1972) 결과 5% 유의 수준에서 12개 시료중 2개 시료가 이상치로 판정되어 이를 제외한 나머지 10개의 시료의 실리카 함량은 $1.32\pm 0.69\%$ 로 나타났다. 다른 업종의 시료에 대해 Grubbs test를 실시한 결과 이상치로 판정되는 시료는 없었다. 생활도자기와 위생도기의 원료와 생산공정은 서로 유사하여 분진중 실리카 함량이 서로 비슷하게 나타났다고 생각된다. 도자기와 단열재의 경우 원료나 공정이 서로 차이가 난 것으로 보인다.

Table 2. Crystalline Silica Contents in Airborne Dust by Product

Product	N	GM(%)	GSD
Table Ware	11	8.03	4.80
Insulator	12	1.32	0.69
Sanitary Ware	13	5.59	3.60

각기 다른 제품을 생산하는 세계 사업장에서 작업장에서 고형시료(bulk sample)를 채취하여 실리카 함량을 분석한 결과 Table 3에서 보듯이 위생도기의 경우 10.5 %를 보였고, 단열재의 경우 2.1%로 비교적 낮게 나타났다. 고형시료의 실리카 함량은 공기시료의 결과와 거의 유사하게 나타났다. 한편 타일제조 사업장의 공형시료의 실리카의 함량을 측정한 결과 약 10%로 나타나 앞의 위생도기나 생활도자기의 결과와 비슷하였다. 일반적으로 도자기제품의 유리규산 함량은 15-25%라고 보고되어 있다 (Alpaugh, 1988)

Cooper등(Cooper 등, 1993)은 여러 공장에서 측정한 호흡성분진의 평균값과 이중에 함유된 결정형의 실리카함량을 보고하였는데, 개인시료의 경우 호

Table 3. Crystalline Silica Contents in Bulk Samples

Product	Sampling Location	SiO ₂ Content %
Tile	Glaze	9.09
	Precipitated dust	7.32
	Raw materials	11.75
	Mean(SD)	9.39(2.21)
Sanitary Ware	Glaze	10.94
	Raw materials	10.11
	Mean(SD)	10.53(0.29)
Insulator	Raw materials	0.50
	Trimming	5.03
	Precipitated dust	0.72
	Mean(SD)	2.08(2.55)

흡성분진의 규산함량이 11.6-27.0%였고, 작업장소 시료의 경우는 28-34%로 나타났다. 다른 연구자의 연구에 따르면 분진중의 규산함량이 부유분진의 경우, 평균 25.10% (16.3-32.3%)이고 퇴적분진의 경우 평균 34.48% (17.7-51.3%)이라고 보고하였다. 이의 자료를 종합해 보면 요업분진중의 유리규산 함량은 대개 20-35% 정도임을 알 수 있다. 그러나 본 연구에서는 도자기와 타일분진의 결정형 실리카 함량은 약 10 %였고 단열재 분진의 경우 5%보다 적은 것으로 나타났다. 앞에서 다른 연구자의 결과보다 낮은 값을 보이고 있는데, 차이가 나는 이유는 지역간의 토질의 차이, 사용하는 원료의 종류와 함량의 차이에 따른 영향이 크다고 생각된다.

앞으로 우리나라 요업 사업장에서의 실리카 폭로와 분진중의 실리카 함량에 대한 많은 연구가 계속되어야 할 것으로 생각된다. 한편 결정실리카는 800-1,000℃에서 가열되면 tridymite로 변성되며, 1,100-1,400 ℃에서는 crystoballite로 변성될 수 있다고 한다(Jones, 1983). 대개 도자기 제품을 만들때 1차소성은 800-1,000 ℃에서 이루어지며, 2차소성은 1,100 ℃이상 에서 이루어진다. 따라서 소성온도에 따라 보다 독성이 강한 물질로 변성될 수 있으므로 이 두 물질에 대한 연구가 더 필요하다고 생각된다. 본 연구결과 도자기 분진의 유리규산 함량은 10% 수준이므로 2종 분진으로 분류하는 것이 타당하다.

3) 업체별 총분진 및 호흡성분진 폭로농도

11개 대상 사업장에서 측정한 공기중 총분진 및 호흡성분진 농도값들의 분포를 본 결과 Fig. 2에서 보듯이 대수정규분포를 하는 것으로 나타났다.

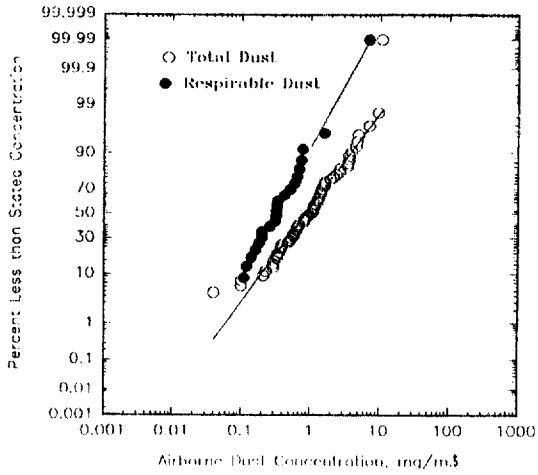


Fig. 2. The distribution of airborne total and respirable dust concentration

충분진 시료의 전체 기하평균(Geometric mean, GM)은 Table 4 및 Fig. 2에서 보듯이 1.00 mg/m^3 ($0.01\text{--}10.0 \text{ mg/m}^3$)으로 나타났고 기하표준편차(Geometric standard deviation, GSD)는 3.2였다. 사업장별 충분진 폭로농도는 Table 4 및 Fig. 3과 같고 대상사업장들 중에서 가장 높은 평균농도를 보인 사업장은 위생도기를 만드는 "DS" 사업장으로서 GM은 1.64 mg/m^3 (GSD=1.90)로 나타났다. 한편 가장 높은 농도를 보인 시료도 역시 위생도기 제조업체인 "SR" 사업장에서 측정된 10.6

Table 4. Airborne Total and Respirable Dust Concentrations by Factory and Product

Product/ Factory	Total Dust			Respirable Dust		
	N	GM mg/m^3	GSD	N	GM mg/m^3	GSD
Insulator						
TS	8	1.39	2.04	4	0.40	1.88
Sanitary Ware						
SR	4	1.60	4.22	4	0.88	5.44
DS	5	1.64	1.90	-	-	-
Subtotal	12	1.62	3.10	4	0.88	5.44
Table Ware						
KSC	6	0.24	3.67	-	-	-
KC	8	0.63	2.82	-	-	-
KJ	5	1.17	2.45	5	0.41	1.75
SD	5	1.23	3.50	5	0.21	1.53
YG	4	0.88	2.21	-	-	-
Subtotal	28	0.68	3.24	10	0.29	1.81
Tile						
DH	6	0.51	8.45	5	0.39	2.73
DD	6	0.58	9.37	-	-	-
CK	4	0.95	2.66	-	-	-
Subtotal	14	0.63	6.40	5	0.39	2.73
Total	61	1.00	3.20	23	0.33	1.96

mg/m^3 이었다.

가장 낮은 충분진 폭로농도를 보인 사업장의 평균 분진농도는 0.24 mg/m^3 (범위 $0.04\text{--}1.62 \text{ mg/m}^3$)로 앞의 사업장과 약 5배의 차이를 보이고 있어 사업장간의 농도변이가 큰 것으로 나타났다.

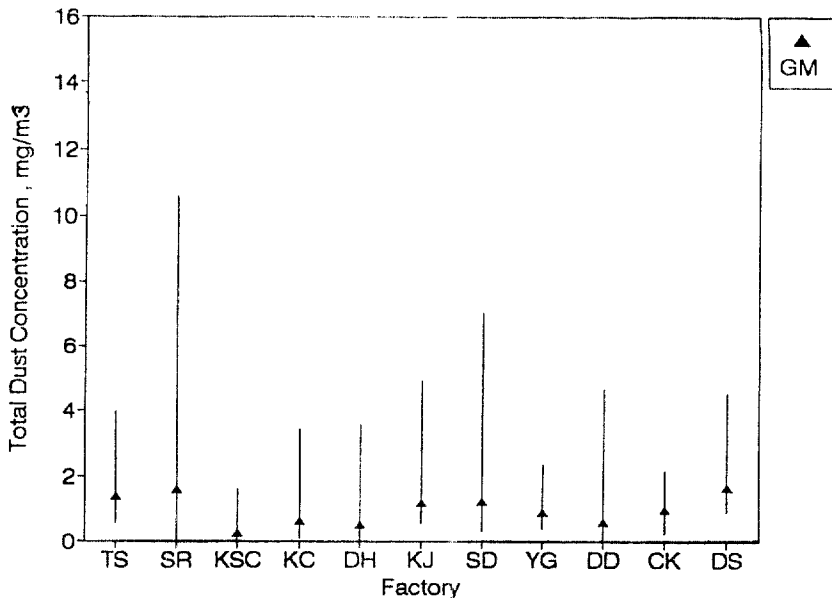


Fig. 3. Airborne total dust concentration by factory.

이 업체는 가정용 생활도자기를 생산하는 업체로서 종사자가 100인 이상의 규모가 큰 업체로서 전반적으로 작업환경관리를 다른 업체보다 잘하기 때문인 것으로 판단된다.

앞에서 언급한 바와 같이 일반적으로 요업분진은 제2종 분진으로 보았을때, 조사사업장의 평균농도가 우리나라의 2종 분진에 대한 허용기준 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 을 초과 하는 사업장은 없었다. 그러나 전체 61개 시료 중 4개시료는 이 기준을 초과하였다. 이중 3개 시료는 위생도기를 생산하는 "SR" 사업장으로 타 사업체보다 높은 폭로수준을 보였다. 대상사업장의 전체 평균은 총분진 허용기준 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 의 1/5 수준이었고, 대상사업장들은 전체적으로 허용기준보다 낮은

폭로수준이나 일부 공정에서는 분진 발생량이 많아 일부근로자는 허용기준을 훨씬 초과하는 수준을 나타내기도 했다. 분진 농도가 높은 공정에서 근무하는 근로자의 적절한 보호대책이 필요한 것으로 보인다. 호흡성분진의 경우 Fig. 2, Table 4에서 보듯이 5개 사업장에서의 호흡성분진의 전체 기하평균은 $0.33\text{mg}/\text{m}^3$ (범위 $0.01\text{-}6.89\text{mg}/\text{m}^3$)로 총분진 농도의 1/3 수준이었다. 전체적으로는 총분진 농도의 1/3 수준이었고 최고 $6.89\text{mg}/\text{m}^3$ 의 높은 값을 보인 시료도 있었다. 가장 높은 농도를 보인 사업장은 Table 4 및 Fig 4에서 보듯이 위생도자기를 생산하는 "SR" 사업장으로서 이 업체의 기하평균이 $0.88\text{mg}/\text{m}^3$ (범위 $0.14\text{-}6.89\text{mg}/\text{m}^3$)였고, 최저농도를

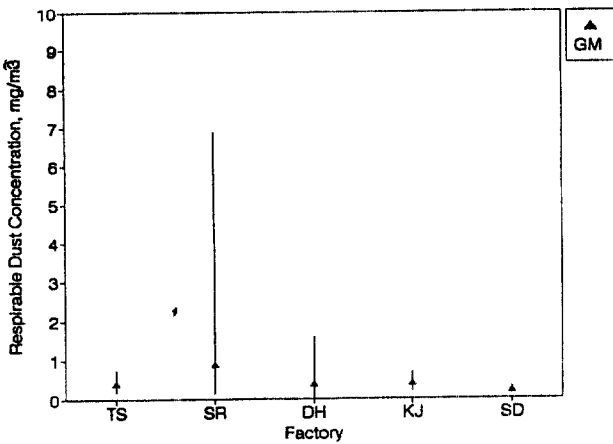


Fig. 4 Airborne respirable dust concentration factory

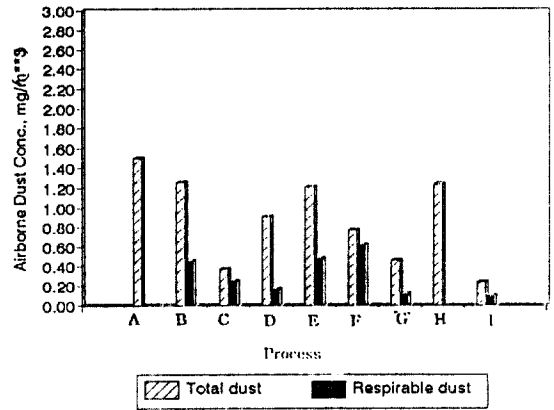


Fig. 5. Airborne total and respirable dust concentration by process.
 A:Crushing/ball mill B:Weighing/mixing
 C:Mold-making D:Forming/shaping
 E:Trimming F:Glaze application
 G:Drying/firing H:Sandblasting
 I:Packing

Table 5. Airborne Total Dust and Respirable Dust Concentrations by Process

Process	Total Dust			Respirable Dust		
	N	GM mg/m^3	GSD	N	GM mg/m^3	GSD
Crushing/milling	10	1.75	2.80	4	0.45	1.51
Weighing/mixing	6	1.25	2.36	-	-	-
Mold-making	3	0.37	1.53	2	0.25	2.83
Forming/shaping	16	0.91	4.36	2	0.17	1.09
Trimming	9	1.21	4.08	5	0.48	1.50
Glazing	5	0.77	2.79	4	0.62	2.85
Drying/firing	6	0.46	6.75	4	0.12	5.37
Sandbalsting	4	1.24	2.22	-	-	-
Packing	4	0.24	2.06	3	0.17	1.76

보인 업체는 식기류를 생산하는 "SD" 사업장으로 평균농도는 $0.21\text{mg}/\text{m}^3$ ($0.12\text{-}0.32\text{mg}/\text{m}^3$)였다.

우리나라에서는 작업환경 측정 및 평가시 호흡성 분진을 측정하는 것이 거의 없는 실정이다. 총분진에 비해서 측정이 까다로운 점이 이의 원인이 되겠지만 무엇보다 중요한 것은 호흡성 분진의 중요성을 제대로 인식하고 있지 않기 때문이다. 실제로 진폐증과 같은 호흡기계 질환을 유발하는 분진은 가스교환 부위(폐포)에까지 침투할 수 있는 분진으로서 그 크기에 의해 결정된다. 따라서 이 조건에 부합하는 호흡성 분진을 측정하는 것이 근로자의 분진폭로 평가시 필수적이라 하겠다.

미국 ACGIH 및 OSHA에서 권고하는 10mm - nylon cyclone은 사람의 폐와 유사하게 작용하도록 고안되었으며 이 preselector를 통과한 분진이 실제로 폐포에 도달하는 분진이라고 볼 수 있다.

본 연구의 조사대상 사업체에서 생산하는 제품은 크게 위생도기, 내화재, 생활도자기, 타일로 나눌 수 있다. 위생도기를 생산하는 업체의 총분진 평균농도가 $1.62\text{mg}/\text{m}^3$ 로 가장 높았고, 다음으로 내화재 $1.39\text{mg}/\text{m}^3$, 생활도자기 $0.68\text{mg}/\text{m}^3$, 타일 $0.63\text{mg}/\text{m}^3$ 순이었다. 호흡성 분진의 경우도 총분진과 같은 양상을 보였으며 각 제품별로 보면 위생도기 $0.88\text{mg}/\text{m}^3$, 단열재 $0.40\text{mg}/\text{m}^3$, 타일 $0.39\text{mg}/\text{m}^3$, 생활도자기 $0.29\text{mg}/\text{m}^3$ 순으로 나타났다.

4) 공정별 공기중 분진 폭로농도

요업의 공정별 총분진 농도는 Table 5 및 Fig. 5와 같다. 총분진은 투입, 제토, 분쇄공정(Crushing/Ballmill)에서 가장 높아 $1.75\text{mg}/\text{m}^3$ 였고, 다음으로 배합/평량(Weighing/Mixing) $1.25\text{mg}/\text{m}^3$, 정형(Trimming) $1.21\text{mg}/\text{m}^3$, 성형(Forming/Shaping) $0.91\text{mg}/\text{m}^3$, 시유(Glazing) $0.77\text{mg}/\text{m}^3$, 건조/소성(Drying/Firing) $0.45\text{mg}/\text{m}^3$, 제형(Moldmaking) $0.37\text{mg}/\text{m}^3$ 순으로 낮았다.

호흡성 분진농도는 시유 $0.62\text{mg}/\text{m}^3$, 정형 $0.48\text{mg}/\text{m}^3$, 분쇄 $0.45\text{mg}/\text{m}^3$, 제형 $0.25\text{mg}/\text{m}^3$, 포장/검사(Packing) $0.17\text{mg}/\text{m}^3$, 소성 $0.12\text{mg}/\text{m}^3$ 순으로 낮았다.

원료투입 공정은 원료를 일정한 비율로 분쇄기에 투입하는 공정으로 사람이 직접 투입하는 경우가 많아 근로자는 투입시 발생하는 많은 양의 분진에 폭

로하게 된다. 분쇄공정은 조분쇄기와 미분쇄기로 원료를 일정한 크기로 분쇄하며 분진이 발생됨은 물론 소음도 고수준으로 발생한다. 이 공정에서 총분진 농도는 최고 $7.01\text{mg}/\text{m}^3$ 로 나타났고 평균 $1.75\text{mg}/\text{m}^3$ 로 전체 공정중 가장 높은 수치를 보였다. 일본에서 조사된 자료(房村信雄, 1985)를 보면 분쇄공정에서 평균 $60.72\text{mg}/\text{m}^3$ 이었고 최고 $387.15\text{mg}/\text{m}^3$ 의 높은 수치를 보였으며, 조분쇄 공정에서도 평균 $12.26\text{mg}/\text{m}^3$ 의 높은 농도를 나타냈다. 호흡성 분진은 이 공정에서 평균 $0.45\text{mg}/\text{m}^3$ ($0.31\text{-}0.68\text{mg}/\text{m}^3$)의 수준을 보였고, 일본의 자료의 경우 분쇄공정은 평균 $4.40\text{mg}/\text{m}^3$, 조분쇄 공정은 평균 $4.25\text{mg}/\text{m}^3$ 수준이었다

제형공정은 요업제품의 성형에 사용되는 석고틀을 제조하는 공정으로 분진 발생량이 적어 타공정보다 낮은 수준을 보였다. 이 공정에서는 석고틀을 다듬질할 때 분진이 발생하고 있었다.

성형공정은 수동성형기 또는 자동성형기의 하부 mold에 원료를 넣고 상부 mold를 회전시켜 제품을 일정한 형태로 성형한다. 다른 방식의 성형 공정으로는 주입 성형 및 압축 성형을 들 수 있다. 주입성형은 석고 mold에 탈수되지 않은 슬러리를 넣고 일정시간 방치하여 건조성형한다. 압축성형은 원료를 석고 mold에 넣고 프레스로 압축하여 성형하는 방법이다. 자동성형기는 사람은 상주하지 않고 수시로 점검만 하고 있어 근로자의 분진폭로는 큰 문제는 되지 않으나 인접한 다른 부서로 분진이 비산될 가능성은 있었다.

성형공정의 자료는 여러 성형방식에 대해 측정된 자료를 종합하여 분석하였는데 이 공정의 총분진 농도는 $0.91\text{mg}/\text{m}^3$ 이었고, 호흡성분진의 농도는 $0.17\text{mg}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 그러나 일부시료는 높은 수치를 보였는데 총분진 농도가 최고 $9.44\text{mg}/\text{m}^3$ 에 달하는 시료도 있었다. 이 공정에서의 일본의 자료(房村信雄, 1985)를 보면 국소배기시설이 없는 작업장에서 총분진과 호흡성 분진 농도가 각각 $63.06\text{mg}/\text{m}^3$ 및 $41.40\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 나타났고 국소배기시설이 있는 경우 각각 $1.90\text{mg}/\text{m}^3$ 및 $0.44\text{mg}/\text{m}^3$ 로 나타나 국소배기시설에 의한 관리의 중요성을 말하고 있다. Cooper등(Cooper등, 1993)은 성형공정에서 개선 전후 호흡성 분진의 농도를 측정하여 비교하였는데 개선전 근로자의 개인폭로농도가 0.58

mg/m³ 이었으나 개선후 0.30mg/m³ 으로 낮아졌고 작업장소시료의 경우에는 개선전 0.30 mg/m³ 이었으나 개선후 0.14mg/m³ 으로 감소하였다고 보고하였다. 본 연구에서는 이 공정에서의 총분진 및 호흡성 분진의 농도는 각각 0.91 및 0.17mg/m³ 으로 나타나 앞의 연구자들의 결과보다 약간 낮은 수준을 보였다.

건조공정은 성형된 제품을 정형이 가능하도록 건조기를 통과시켜 건조시키며 열원은 소성로 배기가스 및 LPG 연소가스를 사용한다. 이 공정은 분진의 발생원이 없고 타공정에서 비산된 분진의 영향을 적게 받으므로 비교적 낮은 농도를 보였다.

정형공정은 성형된 제품의 귀부분을 칼날 또는 스폰지를 사용하여 매끄럽게 다듬는 공정이다. 이 공정은 칼날로 꺾을 때 분진이 발생되며 비교적 높은 분진농도를 보이고 있었다. 이 공정의 총분진 농도는 1.21mg/m³ 이고 호흡성분진은 0.48mg/m³로 나타났다. 전 시료중 가장 높은 농도치를 보인 공정도 이 공정으로 그 값이 10.6mg/m³이다. 요적 및 1차소성은 대차에 제품을 적재하여 적정온도(800-900℃)의 소성로내에서 소성시키는 공정이다. 1차소성을 거친 반제품은 제품의 상태 및 부착된 이물질 제거하는 검사과정을 거친 후 유약을 스프레이 하거나 유약통에 담그는 시유공정을 거치게 된다.

이 공정에서의 총분진 농도는 0.77 mg/m³ (0.23 - 3.59mg/m³), 호흡성 분진 농도는 0.62mg/m³(0.20mg/m³ - 1.58mg/m³)로 나타났다. Cooper 등은 이 공정의 개선전 근로자의 호흡성분진 폭로농도는 0.54mg/m³였고 개선 후 0.3 mg/m³ 이라고 보고하였고, 작업장소시료의 호흡성분진농도는 개선 전후 각각 0.25 mg/m³ 및 0.051 mg/m³ 이라고 보고하였다. 시유과정을 거친 제품을 적정온도(1300 - 1460℃)의 소성로에서 가열한다.

다음으로 제조된 전사지를 부착하고 제품을 소성(회화소성 또는 3차소성)시킨다. 완성된 제품을 검사한 후 포장하여 출하함으로써 상품의 생산이 마무리된다.

앞에서 언급한 공정외에 연마와 같은 특수한 공정이 일부 사업장에 있었으며 이공정은 연마제속에서 제품을 표면을 회전시켜 제품의 표면을 매끄럽게 다듬질하는 작업이다. 이 공정에서의 분진 농도는 비교적 높아 평균 1.24mg/m³의 수준을 보였다. 이

공정은 분진외에 소음의 발생이 심하여 이것도 문제가 되는 공정이었다.

대한산업보건협회(대한산업보건협회, 1990)에서 1990년 노동부 연구용역결과 보고서인 "팽업이외의 진폐발생실태 및 보호대책개발연구"에서 도자기 및 요업에서 사업장을 대상으로 측정한 분진의 농도는 총분진의 농도가 평균 3.98mg/m³ (범위 1.32 - 6.31mg/m³)로 나타났고, 호흡성 분진의 경우 평균 2.19mg/m³(범위 0.81-5.35mg/m³)으로 나타나 본 연구의 결과보다 높은 폭로수치를 보였다.

그러나 이 보고서에는 시료수나 측정시간 및 시료종류(개인용시료 또는 작업장소시료)가 명시되어 있지 않고 기하평균인지 산술평균인지 알 수 없어 이 자료와 본 연구의 자료와 직접적인 비교는 곤란하다.

5) 총분진과 호흡성분진 농도 비교

분진에 의한 장애는 작업환경중의 분진의 입경분포에 따라 크게 영향을 받는다. 진폐증을 일으킬 수 있는 분진은 인체의 폐포조직에 도달할 수 있는 크기의 분진이어야 하는데 이러한 입경의 분진을 호흡성 분진이라 한다. 일반적으로 입경이 10μm 이하인 분진을 말하며, ACGIH에서는 기하 평균입경이 4.0μm인 분진을 호흡성 분진이라고 정의하고 있다(ACGIH, 1993). 본 연구결과, Table 6과 같이 요업 사업장에서 측정된 총분진과 호흡성 분진의 비는 평균 36%로 호흡성 분진의 비율이 비교적 높은 것으로 나타났다.

생활도자기 및 위생도기를 생산하는 업체의 호흡성과 총분진의 비가 각각 43% 및 55%로 나타나 다른 제품 제조업체보다 호흡성분진의 비가 높았다. 단열재 및 타일을 생산하는 업체에서는 각각의 비가 29% 및 25%로 나타나 이 두 업종에서는 비교적 크기가 큰 분진이 발생하는 것으로 짐작된다. 앞으로 Cascade Impactor를 사용하여 요업분진의 입경분포에 대한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

2. 근로자의 공기중 납 폭로 수준

요업제품을 원료로 납석을 사용하는 경우와 안료 중에 중금속이 함유되어 있거나 유약중에 납을 비롯한 중금속이 함유되어 있는 경우 근로자는 공기중으로 비산되는 중금속에 폭로될 가능성이 있게 된다. 또한 전사지를 제조하는 공정에서는 PVC 수지, 천연연료 오일, 분말안료를 혼합하여 만든 잉크로 전

사지 및 상표를 인쇄하여 유기용제가 함유된 코팅제로 코팅한다. 이 공정에서 폭로되는 유해물질로는 안료분진중의 중금속과 코팅제중의 유기용제를 대표적으로 들 수 있다.

이중 외국에서 납의 폭로에 관한 연구가 보고되어 본 연구에서도 공기중 납농도를 평가하였다. Rosa (Rosa, 1991)가 보고한 바에 따르면 이탈리아의 요업에서의 가장 중요한 보건문제는 실리카가 함유되어 있는 분진과 납이라고 보고하였다(Rosa, 1991).

그러나 납중독은 일반적으로 무관하다고 여겨져 왔고 가끔 일어나기 때문에 요업에서는 이문제에 대해서 가장 위험이 적은 것중의 하나로 보고되어 왔다. Rosa는 시유공정에 종사하는 76명의 근로자의 혈중 납농도가 $75 + 25\mu\text{g}/100\text{ml}$ (대조군 남: $25 + 8\mu\text{g}/100\text{ml}$, 여 : $16 + 8\mu\text{g}/100\text{ml}$) 보고하였는데 이공정에서 높은 수준의 납에 폭로됨을 알 수 있다. 이 연구는 역학조사로서 정확한 환경중의 납폭로 수준을 제시하고 있지 않아 이에 대한 자료가 부족한 실정이다.

미국 OSHA의 혈중 납농도의 생물학적 기준을 $40\mu\text{g}/100\text{ml}$ (OSHA, 1989)로, 미국 ACGIH에서는 $50\mu\text{g}/100\text{ml}$ (ACGIH, 1993)로 정하고 있다. 그러나 여자의 경우, $35\mu\text{g}/100\text{ml}$ 의 수준에서도 태아에 영향을 끼칠 수 있으므로 이 수준의 폭로도 회피하여야 한다고 보고하였다. 요업제조업의 종사자중 여성근로자의 수가 더 많아 태아에 미치는 건강장해를 고려해볼 때 납에 대한 정확한 자료와 엄격한 작업환경 및 건강관리가 요구된다.

본 연구에서는 5개 사업장을 대상으로(생활자기 생산 : 4개소, 타일제조 : 1개소) 납의 폭로수준을

측정하였다. 측정결과 생활 자기를 생산하는 1개 업체는 시유공정이 없었고 작업환경 분진중의 납 농도를 측정하였는데 5개 시료중 검출되는 시료가 없었다. 다른 한 사업장은 시유공정은 있으나 유약이 든 통에 제품을 담고 유약칠을 하기 때문에 발생량이 적어 납이 미량 검출되는 정도이므로 자료를 제시하지 않았다. 타일을 제조하는 1개 사업장의 공기중 납을 측정한 결과 거의 검출이 되지 않았다. 타일을 제조하는 공정에서는 사람이 직접 스프레이 하지 않고 부분적으로 밀폐된 된 곳에서 스프레이가 자동적으로 이루어지고 있었다. 이 공정에서는 비교적 높은 유약분진이 발생하는 것으로 관찰되었는데 납 분석결과 미량의 흔적만 검출되는 정도였다. 아마 유약중에 납이 함유되지 않은 것으로 판단된다. 이 세 사업장을 제외한 나머지 2개 사업장에서는 납이 유의하게 검출이 되어 자료를 제시하였는데 그 결과는 Table 7과 같다.

생활도자기를 생산하는 두개 공장의 각공정별 납 농도를 측정한 결과, 연마와 시유를 제외한 다른 공정에서는 검출되지 않았다. 즉 원료중에 납이 별로 함유되어 있지 않고 시유부서에서 발생한 납분진의 영향도 그렇게 크지 않는 것으로 보인다.

표에는 그 결과가 제시되어 있지 않지만 연마공정

Table 6. Ratio of Respirable Dust to Total Dust Concentrations by Product

Product	Total(T) GM, mg/m ³	Respirable(R) GM, mg/m ³	R/T %
Table Ware	0.68	0.29	43
Sanitary Ware	1.62	0.89	55
Insulator	1.39	0.4	29
Tile	0.63	0.16	25

Table 7. Airborne Lead Concentration in Glaze Spraying Process of Table ware Manufacturing Factories

Factory*/ Sampling Location	Pb Concentration, mg/m ³			
	N	GM	Range	
KSC	3	0.194	0.079-0.291	Intermittent spray
KC Line 1	3	0.007	0.006-0.008	Intermittent spray
Line 2	2	0.016	0.013-0.018	Intermittent spray
Line 3	2	0.965	0.845-1.084	Continuous spray Sampled at source

* Five factories were surveyed for lead exposure. One of these factories was tile manufacturing factory, others were table ware manufacturing factories. Three factories had not detectable lead in work environment.

의 경우 약 0.01mg/m³로 나타나 유약을 칠한후 소성된 제품을 연마하는 과정에서 유약중의 납이 미량 발생한 것으로 보인다. 따라서 시유공정을 거친 공정에서는 납이 발생할 가능성이 있음을 의미하고 있다. 유약을 스프레이 할 때의 공기중 납농도의 기하평균은 0.05mg/m³로 나타났다. 전체적으로 평균폭로 농도는 허용기준 0.05mg/m³수준이었다. 최소농도는 0.006mg/m³이고 최대농도는 1.084mg/m³로 측정치 간의 변이가 크게 나타났다. 이는 시유공정에서는 간헐적으로 작업이 이루어지기 때문에 측정 시간대의 시유작업의 유무가 농도값에 매우 중요한 인자로 작용한다고 본다.

시유공정에서는 10개 시료중 5개 시료가 허용기준 0.05mg/m³을 초과하는 수준을 보였다. KSC 사업장의 평균농도가 0.194mg/m³로 허용기준의 4배에 가까운 매우 높은 수준을 보였다. KC 업체의 경우 정상적인 작업위치와 정상 작업조건일때 측정된 결과 두개의 설비에서 0.05mg/m³이하의 농도수준을 보였다. 한편 이 사업장의 Line 3에서 측정된 가장 높은 두개의 시료는 측정시간동안 계속적으로 유약을 스프레이하고 있어 높은 수준으로 나타났다. 이 시료는 발생원에 매우 가까운 위치에서 측정하여 발생원에서의 농도를 알 수 있었다.

현재까지 요업에서의 납을 포함한 다른 중금속의 폭로에 대해 간과하고 있는 실정이었다. 그러나 본 연구결과 시유공정에서 납에 대한 폭로의 위험성이 있음을 확인하였다. 앞으로 납을 포함한 중금속 폭로에 대한 연구와 폭로실태에 대한 심층있는 조사가 진행되어야 하겠다.

IV. 결론 및 요약

요업관련 사업체 11개소를 대상으로 작업환경중 분진, 유리규산 및 납의 폭로에 대해 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 요업관련사업장에서 채취한 고형시료의 결정형 실리카 함량을 측정 한 결과, 위생도기제조업 10.5%, 타일제조업 9.4 %, 단열재제조업 2.1%였다. 그리고 공기중 시료의 경우 생활도자기, 위생자기 및 단열재제조업에서 각각 8.03 %, 5.59 %, 1.32 %로 나타났다.
2. 근로자의 공기중 총 유리규산 폭로농도는 위생

도기사업장의 경우 가장높은 86.2g/m³이었고, 단열재제조업체 45.7 μ g/m³, 생활도자기(식기류)제조업 2개소는 19.8 μ g/m³ 및 26.3 μ g/m³으로 나타났다. 호흡성 유리규산의 농도는 단열재 5.8 μ g/m³, 위생도기 27.9 μ g/m³으로 나타났으며 총 10개 시료중 3개 시료는 호흡성 실리카의 허용기준 100 μ g/m³을 초과하였다.

3. 조사대상 11개 사업장의 총분진 농도의 전체 기하평균(GM)은 1.00mg/m³으로 나타났고 호흡성 분진의 경우 5개 사업장의 전체평균은 0.33mg/m³이었다.

4. 공정별 분진농도 본 결과 총분진의 경우 투입, 제토, 분쇄 공정에서 가장높은 1.75mg/m³로 나타났고 호흡성분진의 경우 시유공정에서 0.62 mg/m³로 가장 높은 수준이었다.

5. 요업사업장 근로자의 분진폭로에 대한 평가를 할 때 결정형 실리카 함량을 측정하여야 한다. 본 연구결과 단열재를 제외한 식기류, 위생도기제조업, 분진의 실리카 함량은 10%에 가까운 수준이므로 2종 분진으로 분류하여야 하며 총분진에 대해 5mg/m³을 허용기준으로 하여 적용하여야 한다.

그러나 보다 정확한 평가를 위해서는 총분진 및 호흡성 분진에 대해 실리카 함량에 따라 허용기준이 결정되는 OSHA의 평가방법을 적용하거나 호흡성 실리카 농도를 측정하여 이의 허용기준에 대해 평가하는 것이 바람직하다.

6. 식기류를 생산하는 2개 사업장 시유공정의 근로자는 납에 폭로되는 것으로 나타났으며 평균 0.05mg/m³ 수준이었고 10개 시료중 5개 시료가 0.05mg/m³을 초과하였다. 따라서 앞으로 요업에서 납의 폭로에 대한 주의를 기울여야 하며 납을 비롯한 중금속의 폭로에 대한 심도있는 연구가 필요하다고 본다.

REFERENCES

- 노동부 : 유해물질의 허용농도, 노동부고시 제91-21호, 노동부, 1991.
 노동부 : 산업별 사업체수 및 근로자수, 노동통계연감, 1992.p.76-141.
 노동부 : '92 근로자 건강진단 실시결과 분석, 노동부, 1993.

- 대한산업보건협회 : 광업이외의 진폐발생실태 및 보호대책 개발연구, 노동부 연구용역 보고서, 노동부, 1990.
- 한국산업안전공단 : 업종별 작업환경 관리기법, 제12편. 한국산업안전공단, 1991.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(1993-1994) : Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. ACGIH, Cincinnati, OH, 1993.
- Alpaugh E.L.: Particulates. In : Fundamentals of Industrial Hygiene, 3rd ed., by B.A. Plog, Chicago, Illinois, National Safety Council, 1988. p. 128.
- Burgess, W.A.: Pottery, In Recognition of Health Hazards in Industry A Review of Material and Processes, NY, John Wiley & Sons, Inc., 1981.
- Chen, J. et al.: Mortality among Dust-exposed Chinese Mine and Pottery Workers. J. Occup. Med. 34(3) : 311-316.
- Cooper T.C., M.G. Gressel, P.A. Froehlich, P.E. Caplan, R.L. Mickelsen, D. Valiante and P. Bost : Successful Reduction of Silica Exposure at Sanitary Ware Pottery. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 54(10) : 600-606, 1993.
- De Rosa, E., G.B. Bartolucci, G. Gori, A. Rossi, F. Fumagalli, A. Patroncino and A. Acqua : Lead Exposure in the Italian Ceramics Industry. Biological Monitoring of Exposure to Chemicals, Metals, ed. by H.K. Dillon and M.H. Ho.Ny, John Wiley and Sons Inc., 1991. p. 49-57.
- Forastiere F., S. Lagorio, P. Michelozzi, F. Cavariani, M. Arca, P. Borgia, C. Perucci and O. Axelson: Silica, Silicosis and Lung Cancer Among Ceramic Workers : A Case-Referent Study. Am. J. Ind. Med. 10 : 363-370, 1986
- Grubbs FE and G Beck, Extension of Sample Size and Percentage Points for Significance Test of Outlying Observations. Technometrics, TCMTA, 14(No. 4) : 847-54, 1972.
- International Labour Office : Encyclopaedia of Occupational Health and Safety, Vol 2, 3rd ed., ed. by L. Parmeggiani, Geneva, International Labour Office, 1983, PP1774 - 1778.
- Jones RN : Silicosis. In : Environmental and Occupational Medicine, ed. by W.N. Rom, Little Brown and Company, Boston, 1983, P197
- National Institute for Occupational Safety and Health : NIOSH Criteria for A Recommended Standard - Occupational Exposure to Crystalline Silica (DHEW (NIOSH Publication No. 75-120; NTIS No. PB-246-697) Cincinnati, OH, NIOSH, 1974.
- National Institute for Occupational Safety and Health : NIOSH Manual of Analytical Methods, 3rd ed. Method 7500. Silica, Crystalline, Respirable ; Method 0600, Nuisance Dust, Respirable ; and Method 0500, Nuisance Dust, Total. Cincinnati, OH, NIOSH, 1984.
- National Institute for Occupational Safety and Health : NIOSH Manual of Analytical Methods, 3rd ed. Method 7300. Elements, Cincinnati, OH, NIOSH, 1984.
- National Institute for Occupational Safety and Health : NIOSH Recommendation for Occupational Safety and Health ; Respiratory Disease Studies: Compendium Policy Documents and Statements. (DHEW(NIOSH Publication No. 92-100) Cincinnati, OH, NIOSH, 1992.
- Occupational Safety and Health Administration : Air Contaminants - Permissible Exposure Limits, Title 29 Code of Federal Regulations Part 1910.1000. OSHA, 1989.
- Thomas T.L. and P.A. Stewart : Mortality From Lung Cancer and Respiratory Disease Among Pottery Workers Exposed to Silica and Talc. Am. J. Epidemiology 125(1) : 35-43, 1987.
- 房村信雄 : 陶磁製品作業, 新版 産業保健 II. 條原出版社, 日本産業衛生學會, 1985. P352-366.