

분진 발생 작업장의 분진 발생 실태 및 영향인자에 관한 연구

부산대학교 환경대학원 환경과학과

김 희 만

부산대학교 의과대학 예방의학교실

김 돈 군

— Abstract —

Study on the level of dust concentration with affecting factors at a dust emitting workshops

Hee-Man Kim

Department of Environmental Science Graduate School of Enviroment Pusan National University

Don-Kyoun Kim

Department of Preventive Medicine, College of Medicine Pusan National University

The author selected 77 dust emitting processes from 71 types of industries which placed in Sasang Industrial Complex in Pusan. The level of total dust was measured as areal concentration and personal exposure concentration by low volume air sampler and personal air sampler, respectively. Collected samples were classified into 5 groups (chemicals and rubber product, metal product, sawmills and wood, foundries and others). Respirable particulate and total dust of areal and personal exposure were analyzed. The results were as follows ;

1. All of the respirable dust concentration and total dust of areal and personal concentration were log-normally distributed.
2. Geometric mean of respirable particulate of personal exposure concentration measured 0.55 mg/m^3 in the first group, 0.86 mg/m^3 in the second group, 0.39 mg/m^3 in the third group, 0.81 mg/m^3 in the forth group and 0.52 mg/m^3 in the fifith group. The exceed rates over TLV(thehold limit values) of total dust were 31.3% in the first group, 31.3% in the second group, 70% in the third group, 80% in the forth group and 13.3% in the fifth group.
3. There were singnificant difference between areal and personal exposure concentration

and personal exposure concentration was higher than that of area.

4. In the case of high ratio of respirable particulate to total dust, pneumoconiosis incidence was high even though the workshop was opened and emitting dust concentration was low.

These findings suggest that it is desirable to measure respirable particulate in environmental assessment of dust emitting workshops.

서론

산업장에서 분진이 발생하는 경우는 물질의 분쇄, 절단, 가공 및 포장 용접시 주로 공기 중에서 비산한다(Holt, 1987). 이 비산된 분진 중 폐포에까지 들어가서 축적되는 먼지의 크기는 직경 0.5-5 μ 정도이다. 5 μ 보다 큰 먼지는 상부 기관지에 잡혀서 가래와 함께 밖으로 배출되며, 0.5 μ 이하의 작은 먼지는 폐포 내에 침착하지 않고 호기(呼氣)를 따라 다시 밖으로 나간다. 폐포 내에 침착된 분진은 탐식세포에 의하여 혈관 및 림프관을 통하여 폐문 림프결절로 운반되어 진폐증을 일으키게 된다.(조규상 외 1989;WHO, 1986).

우리나라에서의 진폐증의 발생은 오래 전부터 있었을 것으로 추정되지만 실제로 진폐증이 맨처음 학계에 보고된 것은 1954년이였다(조규상, 1990). 1981년 산업안전보건법이 제정·공포되어 효율적인 산업보건관리에 노력하고 있으나, 1990년 전국근로자 건강진단 결과에 따르면 총 7,680명의 직업병 유소견자 있었으며 이 중 3,949명이 진폐증으로 나타나 진폐증이 전체 직업병 유소견자의 51.42%를 차지하였다(대한산업보건협회, 1990).

분진 작업장의 효과적인 작업환경관리를 위해서는 작업환경측정을 통한 환경 실태 파악이 선행되어야 하나 최근에 이르기까지 이 분야에 대한 인력, 기술, 예산 상의 문제점으로 제한되어 왔으며, 몇몇 연구보고가 있었지만 그 실제 내용이나 조사 시기가 현실이 맞지 않아 이들을 현재의 작업환경관리 자료로 수정없이 이용하기에는 적절하지 않는 것으로 생각된다(김준원 외 1986과 황병문, 1970).

앞으로 우리나라의 산업은 중화학 공업 분야에

치중하여 발전되어 갈 것으로 생각되기 때문에 분진 작업환경관리와 분진에 폭로되는 근로자에 대한 관리는 사업보건관리의 중요한 측면의 하나로 생각된다(김성천과 조태웅, 1973).

선진국에서는 분진 허용농도를 교정하거나 분진 측정기기의 개발 및 측정방법을 개선하는 등의 분진에 관련된 연구를 계속하여 진행하고 있으나, 우리나라에서는 주로 과거 미국이나 일본의 분진 측정방법이나 허용기준을 준용하고 있는 실정이므로(ACGIH, 1990, 1991, 1992;在野辰雄, 1971). 우리나라에서도 분진에 관련된 연구를 현실적으로 더욱 구체화하여야 할 것이다.

분진 폭로 근로자 개개인에 대한 분진 폭로량 측정시는 호흡성 분진만을, 그리고 분진 작업환경관리를 위해서는 총분진과 호흡성 분진의 농도를 동시에 측정하는 것이 바람직하다고(Clayton, 1971, 1981; Parmegg, avi, 1983)하였다.

작업환경 유해상태에 관한 연구보고는 현재까지 주로 작업환경 실태 보고서, 특히 분진 작업환경에 관한 연구는 환경 농도, 개인 폭로농도, 분진의 입경, 성분등에 대하여 각각 이루어져 왔으며, 환경 농도와 개인 폭로농도를 측정한 결과를 비교 분석하여 효율적인 개선방안을 제시한 연구는 조선업(김광종과 송기창, 1991), 주조업(한국산업안전공단, 1989), 석탄채광업(윤영노와 정호근, 1991)등에서 이루어지고 있지만 제조업을 대상으로 한 것은 “분진의 작업환경농도와 개인 폭로농도(김찬호, 1992)”, “각종 작업장소에 있어서의 총분진과 호흡성 분진농도(木村國菊乙, 島影久子, 1977)”등으로 매우 드문 실정이며, 더욱이나 작업환경 농도와 개인 폭로 농도 및 호흡성 분진 폭로농도 등의 단순관계를 연구한 것에 불과하다. 이에 저자는 작업환경 농도와 개인 폭로농도 및 이들 각각의 호흡성 분진과 총분진을 동일

공정내의 동일 조건으로 동시에 측정하여 이를 비교·분석함은 물론, 국소배기 시설의 설치 및 가동상태와 보호구의 착용율 등의 영향요인을 연구함으로써 작업환경관리의 근본적인 문제점을 평가하여 작업환경관리의 기초자료를 제공할 목적으로 본 연구를 시행하였다.

재료 및 방법

1. 조사 대상과 시기

1993년 3월부터 5월까지 약 3개월간에 걸쳐 부산지역 소재 사상공단과 강서구 일원에 산재해 있는 제조업체 중 입자상 물질을 많이 발생하는 공정 부서를 가진 사업장 71개 업체의 77개 공정을 임의 추출 방법으로 선정하였다. 이 77개의 공정을 제품 생산시 발생하는 분진의 성분과 한국 표준 산업 분류표(상공부, 1991)에 의해 표1과 같이

- ① 화학약품 및 고무제품 제조업
- ② 금속제품 제조업
- ③ 제재 및 목재제품 제조업
- ④ 주조업

⑤ 기타 제조업 등 5업종군으로 분류하여 조사 대상으로 하였다.

제조업 공정중 조사 대상 공정 부서는 주로 제품의 분쇄, 포장이나 사상, 연마 등으로, 주로 입자상 물질을 발생하는 공정 부서로서 가장 많은 분진을 발생하는 공정 부서를 선택하였으며, 입자상 물질에의 폭로가 그 공정 부서를 대표할 수 있는 근로자와 측정지점을 선정하였다.

2. 기 기

1) 개인용 분진 포집기(Personal air sampler)

호흡성 분진 및 총분진의 개인 폭로농도 조사용으로 측정 전후에 유량보정계로 유량을 보정하였다(Kight와 Licht, 1979;Pittsburg Field Health Group, 1971; kight와 moore, 1978). 조사기간 중 유량의 변동은 없었고, 사용 기종은 Gil-Air Personal air sampler이며, Model PN 800508-1(미국 Gilian사)였다. 호흡성 분진 입경 분리기는 Gilian사의 10mm nylon cyclone을 사용하였고(Held와

Coop, 1979)filter holder는 3-piece holder를 사용하였으며 filter holder로 공기가 새는 것을 방지하기 위하여 Cellulose band로 밀봉하였다. 시료 채취량은 2ℓ/min이었다.

2) 지역 공기 시료 채취기(Area air sampler)

호흡성 분진 및 총분진의 지역시료 채취기(木村國菊乙, 島影久子, 1977; 노동부, 1992)로 측정 전후에 유량보정계로 유량을 보정하였으며(Pittsburg Filed Health Group, 1971; OSHA, 1990; WHO, 1984)조사기간 중 유량의 변동은 없었고, 사용 기종은 Area Low air sampler이며, Model L-15P(일본 Sibata사)였다. 호흡성 분진 채취용 다단식 분립장치가 달린 지역시료 채취기를 사용할 때는 Model L-15P의 분립장치를 사용하였다.

3) 유량보정계(Pump calibrator)

유량보정계는 1차 표준 유량보정계인 비누방울 유량보정계(Soap bubble calibrator)로서 Model D-800270(미국 Gilian사)은 3ℓ/min의 범위에서 2ℓ/min까지이며, Model D-00271(미국 Gilian사)은 6ℓ/min에서 0.2ℓ/min까지 유량 보정이 가능한 기종이다.

4) 직시천평(Direct-treading balance)

천평은 직시천평 Model RC 210P (독일 Sartorius사)를 사용하였으며 이것은 0.01mg까지 판독 가능하고 기계 자체의 미소진동을 완충하는 방진 시설이 내장 되어 있다.

3. 재 료

1) Membrane filter

직경이 각각 37mm와 55mm로 공극 0.45μm의 Polytetrafluoroethylene membrane filter (미국 Nuclepore사)로 개인 시료와 지역시료의 호흡성 분진과 총분진의 폭로농도 측정을 위한 분진 포집용으로 동일한 filter를 사용하였다.

4. 측정방법

1) 개인 시료 채취(Personal sampling)

각 개인의 분진 폭로농도를 위한 사료의 포집은 개인용 분진포집기를 사용하였으며, 포집한 시료는 filter holder의 양쪽의 구멍을 마개로 봉하고 실험실로 운반하여 분진의 무게를 칭량(稱量)

Table 1. Distribution of type of industry

Group	Type of manufacturing industry	Working process	No. of sample
1	Synthetic resins	Pluveriation & packing	2
	Zinc sterate	Pluveriation & packing	2
	Polymerization	Pluveriation & packing	1
	Pigments	Pluveriation & packing	1
	Synthetic tonning	Pluveriation & packing	1
	Fotwear	Rolling Mill	3
		Mix	3
	Rubber products	Rolling Mill	3
2	Boiler shop products	Grinding & welding	3
	Tank & metal container	Grinding & welding	3
	Domestic utensis	Buffing	1
	Industrial machinery	Grinding & welding	3
	Screw machinary	Wire-clear	3
	Rolling mills	Ingot molding	1
	metal coating	Buffing	2
3	Sawmills	Sawing	2
		Cutting	5
	Plywood	Completion	3
4	Molding	Molding	5
	After-treatment	Desanding	9
	Concreat products	Processing	1
		Deforming	1
	Ceramic, refractory & sand pits	Packing	1
		Pulverization	1
		Forming	1
	Costing sand	Pulverization & packing	1
			1
5	Prepared animal feeds	Packing	3
	Leather	Buffing	3
	Welding stick	Processing	2
	Carbonization wood	Forming	2
		Carbonization	2
	Repair of motor car	Lower part	1
	Printing	Priting	2
Total			77

1. Chemicals & Rubber product

3. Sawmills & Wood

5. others

2. Metal products

4. Foundries

하였다. 조사 대상 근로자에게 개인용 분진포집기를 착용 시킨 후 8시간의 근무시간 동안 시료를 포집하게 하여 작업 종료시 분진포집기를 회수하였다. 다만 작업장의 분진농도가 높아 10mm-nyl-

on cyclone의 hopper에 분진이 과다하게 퇴적되어 hopper에서 월류(越流)한 분진이 여지에 과도하게 포집될 우려가 높거나, 총분진의 경우 5mg 이상의 분진이 filter에 포집될 유려가 있을 경우

(NIOSH, 1984)에는 2회 연속 포집한 경우 두개의 농도를 가중평균하거나 작업강도와 분진 발생량이 일정한 경우는 최소 3시간 이상 포집을 원칙으로 하였다. 기중 부유분진 중에서 호흡성 분진을 분리하기 위한 10mm-nylon cyclone은 근로자의 작업에 방해되지 않도록 호흡기로부터 반경 30cm 이내의 범위에서 수직을 유지할 수 있게 하기 위하여 clip으로 한쪽 옷깃과 주머니 덮개에 고정하였다(Hold와 Cooper, 1979; 노동부, 1992; Morse○○○○). 총분진을 포집하기 위한 holder는 호흡성 분진용 cyclone과 동일한 방법에 따라 근로자의 남은 한쪽의 상의 깃에 clip으로 고정하였다. 다만, 근로자가 임의로 개인 분진포집기를 벗어 버린 경우, 개인용 분진포집기의 유량이 불규칙하여 test-failure의 지시등(指示燈)이 켜진 것, 호흡성 분진의 농도가 높은 곳에서 포집한 여지 중에서 10mm-nylon cyclone의 hopper 내의 분진이 월류(越流)하여 과도하게 포집된 여지와 같은 시료는 자료처리에서 제외하였다.

2) 지역 시료 채취(Area sampling)

지역 분진의 환경 농도 측정을 위한 시료의 포집은 Low volume air sampler를 사용하였으며 포집한 시료는 filter 보관함에 넣어 실험실로 운반한 후 분진의 무게를 칭량하였다.

조사 대상 지역에 다단식 분립장치가 달린 호흡성 분진 포집기와 총분진 포집기를 동일한 stand에 고정시켜서 개인 시료 채취시의 근로자의 위치공정과 동일한 공정 부서의 3m내에서 포집하였다. 포집시간 및 과다 분진발생 작업공정 등은 개인시료 채취시와 동일한 방법으로 처리하였다.

다만, 지역 분진 포집의 경우 근로자가 임의로 분진 포집용 stand를 옮기거나 기동 스위치를 조작한 경우, 작업장의 분진이 과도하게 발생하여 다단식 분립장치의 분립능력이 현저히 저하될 경우, 직접 filter에 포집된 분진의 양이 5mg을 상회하여 과도하게 포집된 시료도 개인 분진 포집시와 같이 자료처리에서 제외하였다.

3) 여지 및 공시료

여지는 desiccator에서 24시간 건조시킨 후 5회 반복 칭량한 값을 산정하였다. 또한 시료공기를 통과하지 않는 여과지를 공시험용으로 모든 시료

와 동일하게 처리하여 농도 계산시 보정용으로 사용하였다.

5. 통계처리

각 분진의 폭로 농도를 Kolmogorov-Smirnov goodness of fit test로 정규분포성을 검정한 후 각각의 업종별로 일원분산분석(One-way ANOVA)하였으며, 또한 업종별 개인 호흡성 총분진과 지역 호흡성 총분진간 각각의 분진농도를 paired sample t-test를 하였다.

성 적

부산지역 사상공단 및 강서구 일원에 산재한 제조업체 중 77개의 분진 발생공정 부서와 근로자에게 개인 분진 포집기 및 지역 분진 포집기를 착용시켜서 각각의 호흡성 및 총분진의 발생농도를 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 각 업종별 호흡성 분진과 총분진의 개인 폭로농도

각 업종별 호흡성 분진과 총분진의 개인 폭로농도의 분포에 대한 정규분포성을 검정한 결과 제재 및 목재제품 제조업의 호흡성 분진의 한 경우를 제외하고는 전업종에서 대수정규분포를 보였다.

표 2와 같이 호흡성 분진의 평균농도를 금속제품 제조업에서 $0.86 \pm 3.42 \text{mg/m}^3$ (0.07-6.43 mg/m^3), 총분진의 평균농도는 주조업에서 $5.58 \pm 2.77 \text{mg/m}^3$ (1.02-33.64 mg/m^3)으로 가장 높았고, 제재 및 목재제품 제조업에서 호흡성 분진의 평균농도는 $0.39 \pm 4.18 \text{mg/m}^3$ (0.12-16.06 mg/m^3), 총분진 평균농도는 $1.55 \pm 3.46 \text{mg/m}^3$ (0.21-24.08 mg/m^3)으로 가장 낮았다.

개인 폭로 분진의 총분진에 대한 호흡성 분진의 비율은 화학약품 및 고무제품제조업이 0.13, 금속제품 제조업이 0.26, 제재 및 목재제품 제조업이 0.25, 주조업이 0.16, 기타 제조업은 0.21로 금속제품 제조업과 제재 및 목재제품 제조업이 높았고, 화학약품 및 고무제품 제조업이 낮았다. 그리고 각 업종별 호흡성 분진과 총분진의 개인

폭로농도 95% 신뢰 구간(與重治)을 부서에 따라 대비하여 도식화하면 그림 1과 같다.

호흡성 및 총분진의 개인 폭로농도가 업종별로

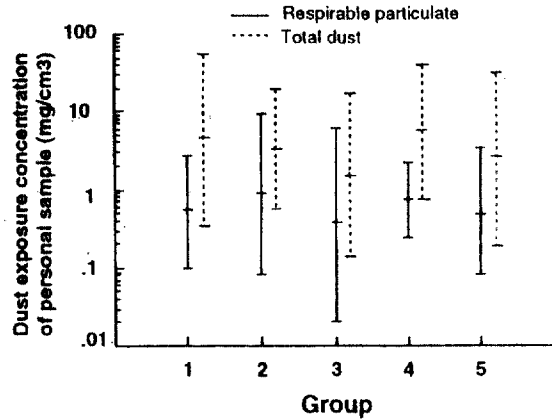


Fig. 1. 95% confidence interval of personal exposure concentration.

Table 2. Personal exposure concentration of each group

Group	Case	G.M. (mg/m ³)		G.S.D		Range (mg/m ³)		R/T ratio
		R	T	R	T	R	T	
1	16	0.55	4.44	2.36	3.63	0.08-2.56	0.72-35.40	0.13
2	16	0.86	3.39	3.42	2.51	0.07-6.43	0.63-13.43	0.26
3	10	0.39	1.55	4.18	3.46	0.12-16.06	0.21-24.08	0.25
4	20	0.81	5.58	1.88	2.77	0.34-2.84	1.02-33.64	0.16
5	15	0.52	2.46	2.64	3.74	0.13-3.94	0.30-30.32	0.21

1. Chemicals & Rubber product

2. Metal products

3. Sawmills & Wood

4. Foundries

5. others

R:Respirable particulate (Personal)

T:Total dust (Personal)

G.M.;Geometric mean

G.S.D;Geometric standard deviation

Table 3. Area exposure concentration of each group

Group	No. of sample	G.M. (mg/m ³)		G.S.D		Range (mg/m ³)		R*/T*
		R*	T*	R*	T*	R*	T*	
1	16	0.41	1.79	2.36	2.83	0.09-1.28	0.34-14.20	0.23
2	16	0.34	1.20	2.75	2.94	0.04-1.13	0.18-15.91	0.25
3	10	0.14	1.68	2.44	2.53	0.03-0.62	0.46-12.74	0.08
4	20	0.62	2.92	1.77	2.69	0.21-1.87	0.74-38.75	0.22
5	15	0.38	1.38	2.69	2.97	0.14-8.19	0.29-16.92	0.27

1. Chemicals & Rubber product

2. Metal products

3. Sawmills & Wood

4. Foundries

5. others

R*:Respirable particulate (Parea)

T*:Total dust (Parea)

G.M.;Geometric mean

G.S.D;Geometric standard deviation

유의한 차이가 있는지를 일원분석분석법으로 검정한 결과 각 업종간에 유의한 차가 없었으며(호흡성 분진 : F-value=0.5282, 총분진 : F-value=0.2652, $p>0.05$), 총분진에 대한 호흡성 분진의 발생율을 이용하여 각 업종별로 분산분석(Kruskal-Wallis one-way ANOVA)한 결과 유의한 차를 볼 수 없었다($p=0.1324$).

2. 각 업종별 호흡성 분진과 총분진의 지역 폭로농도

각 업종별 호흡성 분진과 총분진의 지역 폭로농도의 분포에 대한 정규분포성을 검정한 결과 기타 제조업을 제외한 전업종에서 대수정규분포를 보였다.

각 업종별 호흡성 분진과 총분진의 지역 폭로농도는 표 3과 같이 주조업에서 호흡성 분진이 평균 농도는 $0.62 \pm 1.77 \text{ mg/m}^3$ ($0.21 - 1.87 \text{ mg/m}^3$),

총분진의 평균농도 $2.92 \pm 2.69 \text{ mg/m}^3$ ($0.74 - 38.75 \text{ mg/m}^3$)으로 가장 높았고, 제재 및 목재제품 제조업에서 호흡성 분진의 평균농도는 $0.14 \pm 2.44 \text{ mg/m}^3$ ($0.03 - 0.62 \text{ mg/m}^3$)으로 가장 낮게 나타났으며, 총분진의 평균농도는 금속제품 제조업에서 $1.20 \pm 2.94 \text{ mg/m}^3$ ($0.18 - 15.91 \text{ mg/m}^3$)으로 가장 낮았다.

각 업종별 지역 분진의 총분진에 대한 호흡성 분진의 비율은 화학약품 및 고무제품 제조업이 0.23, 금속 제품 제조업이 0.25, 제재 및 목재제품 제조업이 0.08, 주조업이 0.22, 기타 제조업이 0.27로 가장 높았으며, 제재 및 목재제품 제조업이 가장 낮았다. 그리고 각 업종별 호흡성 분진과 총분진의 지역 폭로농도 95% 신뢰구간(與重治)을

부서에 따라 대비하여 도식화하면 그림 2와 같다. 호흡성 분진 및 총분진의 지역 폭로농도의 업종별로 유의한 차가 있는지를 일원분산분석법으로 검정한 결과 각 업종간에 유의한 차가 없었으면 (호흡성 분진 : $F\text{-value} = 0.474$ 총분진 : $F\text{-value} = 0.4989$, $P > 0.05$), 총분진에 대한 호흡성 분진의 발생율을 이용하여 각 업종별로 분산분석(Kruskal-Wallis one-way ANOVA)한 결과 각 업종간에는 유의한 차가 있었다($P = 0.0363$).

3. 각 업종별 개인 폭로농도와 지역 폭로농도의 총분진의 허용농도 초과율

각 업종별 개인 폭로농도에 대한 지역 폭로농도의 호흡성 분진의 비율은 표 4와 같이 화학약품

Table 4. Dust exposure concentration of each group

Group		Personal sampling		Area sampling		Ratio		TLV	N.C (%)	
		R	T	R*	T	R*/R	T*/T	(mg/m)	T	T*
1	G M	0.55	4.44	0.41	1.79	0.74	0.40	10	31.3	6.3
	GSD	2.36	3.63	2.36	2.83					
2	G M	0.86	3.39	0.34	1.20	0.39	0.41	5	31.3	6.3
	GSD	3.42	2.51	2.75	2.94					
3	G M	0.39	1.55	0.14	1.68	0.35	1.08	1	70.0	80.0
	GSD	4.18	3.46	2.44	2.53					
4	G M	0.81	5.58	0.62	2.92	0.70	0.55	2	80.0	60.0
	GSD	1.88	2.77	1.77	2.69					
5	G M	0.52	2.46	0.38	1.38	0.72	0.56	10	13.3	6.7
	GSD	2.64	3.74	2.69	2.97					

1. Chemical & Rubber product
·Resins, Pigments, Tonnigs, Zinc-stearate, Rubber, etc
·Third class, Other dust (<1% of SiO_2)
2. Metal product
·Iron Oxide welding fume, etc.
·Second class (<30% SiO_2)
3. Sawmills & Wood
·Wood dust(certain hand wood)
4. Foundries
·Costing Sand, ceramic, concreat, etc.
·First class (> 30% of SiO_2)
5. Others
·Animal feed, leather, etc.
·Third class, other dust (<1% of SiO_2)

G.M. : Geomtric mean (mg/m^3)

G.S.D; Geometric standard deviation

N.C. : Non-compliance

TLV; Threshold Limit Values

R; Respirable particulate (Personal)

R*; Respirable particulate (Area)

T; Total dust (Personal)

T*; Total dust (Area)

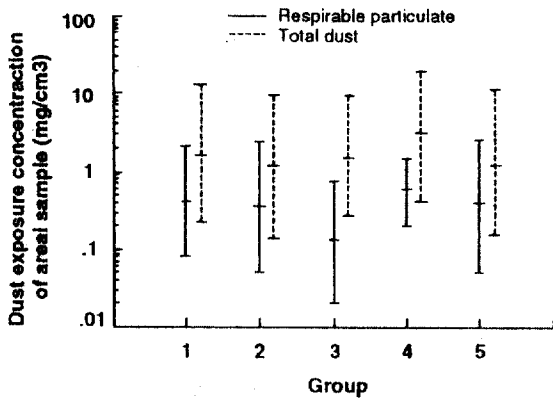


Fig. 2. 95% confidence interval of personal exposure concentration.

및 고무제품 제조업이 0.74, 금속제품 제조업이 0.39, 제재 및 목재제품 제조업이 0.35, 주조업이 0.70, 기타 제조업이 0.72로 주조업이 가장 높았고, 제재 및 목재제품 제조업이 가장 낮았다.

충분진의 경우는 화학약품 및 고무제품 제조업이 0.40, 금속제품 제조업이 0.41, 제재 및 목재

제품 제조업 1.08, 주조업이 0.55, 기타 제조업이 0.56으로 제재 및 목재제품 제조업이 가장 높았으며, 화학약품 및 고무제품 제조업이 가장 낮았다. 노동부 고시의 허용기준(노동부, 1991)과 미국산업위생사협회TLV(ACGIH, 1990, 1991, 1992)의 근거에 의한 각 업종별 허용기준농도 초과율은 개인 폭로 충분진의 경우 화학약품 및 고무제품 제조업이 31.3%, 금속제품 제조업 31.3%, 제재 및 목재제품 제조업이 70.7%, 주조업이 80.0%, 기타 제조업이 13.3%로 주조업이 가장 높았고, 기타 제조업이 가장 낮았다. 지역 폭로 충분진의 경우 화학약품 및 고무제품 제조업이 6.3%, 금속제품 제조업이 6.3%, 제재 및 목재제품 제조업이 80.0%, 주조업이 60.0%, 기타 제조업이 6.7%로 제재 및 목재제품 제조업이 가장 높았으며, 화학약품 및 고무제품 제조업이 가장 낮았다. 각 업종의 개인 폭로농도 중의 호흡성 및 충분진과 지역 폭로농도 중의 호흡성 및 충분진이 각각으로 유

Table 5. Dust concentration by operating for local ventillation system

Group	Operating					Non-operating				operating ratio (%)
		Personal	sampling	Area	sampling	Personal	sampling	Area	sampling	
		R	T	R*	T*	R	T	R*	T*	
1	G M	0.55	4.01	0.55	2.01	0.57	5.53	0.21	1.36	68.8
	GSD	2.69	3.97	1.93	3.16	1.75	3.19	2.51	2.20	
2	G M	0.34	2.01	0.14	1.55	0.99	3.63	0.38	1.36	12.5
	GSD	9.39	1.40	6.11	2.25	3.00	2.61	2.44	2.94	
3	G M	0.20	1.79	0.14	1.14	0.63	1.42	0.14	2.18	40.0
	GSD	1.35	2.10	1.80	1.57	5.64	4.71	3.00	3.00	
4	G M	0.49	3.90	0.35	2.08	0.91	6.11	0.72	3.16	20.0
	GSD	1.48	2.39	1.63	1.67	1.86	2.89	1.63	2.92	
5	G M	1.02	1.32	0.39	1.02	0.49	2.56	0.37	1.40	6.7
	GSD	—	—	—	—	2.66	3.86	2.77	3.10	
Total										28.6%

1. Chemical & Rubber product
2. Metal product
3. Sawmills & Wood
4. Foundries
5. Others

R; Resporable particulate (Personal)
T; Total dust (Personal)
R*;Respirable particulate (Area)
T*;Total dust (Area)
G.M Geometric mean
G.S.D; Geometric standard deviation

의한 차이가 있는지를 paired samples t-test한 결과 총 30 case 중 20 case가 유의한 차가 있었으며, 10 case 유의한 차가 없었다.

4. 국소배기시설 가동유무에 따른 분진의 폭로농도.

각 업종별 국소배기시설 가동율은 표 5와 같이 화학약품 및 고무제품 제조업이 68.8%, 금속제품 제조업이 12.5%, 제재 및 목재제품 제조업이 40.0%, 주조업이 20.0%, 기타 제조업이 6.7%로 화학약품 및 고무제품 제조업의 가동율이 가장 높았고, 주조업과 기타 제조업이 낮았다. 분진의 발생농도는 미가동 공정부서에서 대체적으로 높았고, 가동한 공정 부서에서는 발생농도가 낮았다.

5. 개인보호구 착용율에 따른 분진의 폭로농도

각 업종별 보호구 착용율은 표 6과 같이 화학약품

및 고무제품 제조업이 43.8%, 금속제품 제조업이 37.5%, 주조업이 45.0%, 기타 제조업이 20.0%로 주조업이 가장 착용율이 높았으며, 제재 및 목재제품 제조업의 경우는 전혀 착용하지 않았다. 분진의 폭로농도는 보호구를 착용한 경우가 높게 폭로되었으며, 분진 발생농도가 높은 곳의 근로자들이 개인 보호에 신경을 쓰고 있음을 알 수 있었다.

6. 직업성 진폐 유소견자(D₁)발생수

조사 대상 사업장 중 진폐 유소견자 발견되었던 42개 사업장에서 1988년부터 1992년까지 5년간의 진폐 유소견자 발생률을 업종별로 구해 본 결과 표 7과 같다. 직업성 진폐증 발생수는 표 7과 같이 화학약품 및 고무제품 제조업이 7.3%, 금속제품 제조업이 11.3%, 제재 및 목재제품 제조업이 33.3%, 주조업이 18.1%, 기타 제조업이 16.7%로 제재 및 목재제품이 가장 높았고, 화학약품

Table 6. Dust concentration by attending personal protective device

Group		Attending				Non-attending				Attending ratio (%)
		Personal	sampling	Area	sampling	Personal	sampling	Area	sampling	
		R	T	R*	T*	R	T	R*	T*	
1	G M	0.70	4.77	0.39	1.60	0.46	4.22	0.42	1.93	43.8
	GSD	2.59	4.71	2.53	3.94	2.18	3.13	2.36	2.18	
2	G M	0.99	3.71	0.37	2.29	0.79	3.22	0.32	1.02	37.5
	GSD	5.05	2.51	3.29	3.06	2.80	2.61	2.61	2.41	
3	G M	—	—	—	—	0.39	1.55	0.14	1.68	—
	GSD	—	—	—	—	4.18	3.46	2.44	2.53	
4	G M	0.62	4.85	0.51	2.48	1.01	6.23	0.73	3.32	45.0
	GSD	1.55	2.46	1.68	2.16	1.99	3.13	1.77	3.19	
5	G M	0.74	3.60	0.29	1.48	0.47	2.23	0.40	1.35	20.0
	GSD	2.89	3.22	1.40	1.55	2.64	3.97	2.97	3.39	
Total										32.5%

1. Chemical & Rubber product
2. Metal product
3. Sawmills & Wood
4. Foundries
5. Others

R: Resposable particulate (Personal)
T: Total dust (Personal)
R*: Respirable particulate (Area)
T*: Total dust (Area)
G.M : Geometric mean (mg/m³)
G.S.D; Geometric standard deviation

Table 7. Incidence of pneumoconiosis

Group	Number of workers	Number of pneumoconiosis (D1)	Incidence (%)
1	137	10	7.3
2	106	12	11.3
3	9	3	33.3
4	160	29	18.1
5	18	3	16.7
Total	430	57	13.0

및 고무제품 제조업이 가장 낮았다.

고 찰

연구대상 5개 업종에서 발생하는 각 업종별 개인 폭로 또는 지역 호흡성 및 총분진의 폭로 농도는 제재 및 목재제품업의 개인 호흡성 분진과 기타 제조업의 지역 호흡성 및 총분진의 경우를 제외한 전부서에서 대수정규 분포를 보여 작업환경에서 발생하는 분진의 폭로농도는 대수정규 분포를 보여 작업환경에서 발생하는 분진의 폭로농도는 대수정규 분포를 보인다고 한 여러 연구자들(與重治, 1988; Gale, 1987; Esmen과 Hammad, 1977)의 결과와 일치하였다.

1. 개인 폭로농도 중 호흡성 및 총분진의 농도

개인 폭로농도 중 호흡성 분진의 농도는 금속제품 제조업의 경우가 $0.86\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았고, 주조업이 $0.81\text{mg}/\text{m}^3$, 화학약품 및 고무제품 제조업이 $0.55\text{mg}/\text{m}^3$, 기타 제조업이 $0.52\text{mg}/\text{m}^3$, 제재 및 목재제품 제조업이 $0.39\text{mg}/\text{m}^3$ 의 순으로 나타났다.

총분진은 주조업이 기하평균 $5.58\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았고, 화학약품 및 고무제품 제조업이 $4.44\text{mg}/\text{m}^3$, 금속제품 제조업이 $3.39\text{mg}/\text{m}^3$, 기타 제조업이 $2.46\text{mg}/\text{m}^3$, 제재 및 목재제품 제조업이 $1.55\text{mg}/\text{m}^3$ 순으로 나타났다. 진폐환자 발생율의 경우는 제재 및 목재제품 제조업이 33.3%로 가장 높았고, 주조업이 18.1%, 기타 제조업이 16.7%, 금속제품 제조업이 11.3%, 화학약품 및 고무제품 제조업이 7.3%로 총 13%의 발생율을 나타내어 우리나라 산업보건통계(대한산업보건협회,

1990;1990) 총수검자 중 2.16%의 유소견자보다는 높게 나타났다. 금속제품 제조업의 호흡성 분진 폭로농도가 가장 높은 것은 용접작업과 사상작업이 주된 작업으로 미세한 용접 fume 및 산화철 분진이 호흡성 크기로 많이 발생하며 국소배기시설의 설치 및 가동율이 12.5%로 현저히 낮기 때문이다. 그리고 제재 및 목재제품 제조업의 경우는 작업장이 비교적 개방적으로 목분진의 확산율이 큰데 원인이 있고, 국소배기시설의 설치율도 40%로 5업종 중 두번째인 것에 기인하는 것으로 보여진다. 주조업의 총분진 폭로농도가 가장 높은 것은 재료가 모래로 자체 비산성이 강하며, 이 모래로 형틀을 만들어 고온의 용해된 쇳물을 주입함으로써 모래가 건조하여지고, 다시 제품 채취작업과 탈사작업을 할 때 비산되는 분진에 원인이 있으며, 오염 발생원이 공정 부서의 모든 곳에 분산되어 있고, 국소배기시설의 설치 및 가동율이 20%로 낮은데 그 원인이 있다. 그리고 진폐환자 발생율이 가장 높은 제재 및 목재제품 제조업은 개인 폭로농도의 총분진에 대한 호흡성 분진의 발생 비율이 0.25로 매우 높았고, 허용농도 초과율도 70%로 높은데 그 원인이 있으며, 특히 보호구를 전혀 착용하지 않은데 매우 중요한 원인이 있는 것으로 생각된다. 화학약품 및 고무제품 제조업의 경우 진폐환자 발생율이 가장 낮은 것은 분진의 허용농도 초과율이 31.3%로 비교적 높게 발생됨에도 불구하고 개인 폭로농도의 총분진에 대한 호흡성 분진의 발생율이 0.13으로 가장 낮으며, 국소배기시설의 설치 및 가동율에 가장 높았고, 보호구의 착용율 또한 43.8%로 높은데 원인이 있다.

2. 지역 폭로농도 중 분진 및 총분진 농도

지역 폭로농도 중 호흡성 분진농도는 주조업의 경우가 기하평균 $0.62\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았고, 화학약품 및 고무제품 제조업이 $0.41\text{mg}/\text{m}^3$, 기타 제조업이 $0.38\text{mg}/\text{m}^3$, 금속제품 제조업이 $0.34\text{mg}/\text{m}^3$, 제재 및 목재제품 제조업이 $0.14\text{mg}/\text{m}^3$ 의 순으로 나타났다.

총분진은 주조업이 기하평균 $2.92\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았고, 화학약품 및 고무제품 제조업이 $1.79\text{mg}/\text{m}^3$, 제재 및 목재제품 제조업이 1.

68mg/m³, 기타 제조업이 1.38mg/m³, 금속제품 제조업이 1.20mg/m³순으로 나타났다. 주조업의 지역 호흡성 분진농도가 가장 높은 것은 분진의 발생원이 전공정에 산재해 있으며, 전체환기시설이나 국소배기시설이 설치되어 있지 않는데 그 원인이 있는 것으로 생각되며, 제재 및 목재제품 제조업의 호흡성 분진이 가장 낮은 이유는 작업장의 한쪽벽이 대부분 개방된 상태로 전체환기와 확산율에 기인한 것으로 판단된다. 총분진의 경우 주조업이 가장 높은 원인은 전술한 경우와 동일하며 금속제품 제조업이 낮은 이유는 대부분의 경우 사상이나 용접시는 옥외 작업으로 단시간 작업에 그 원인이 있는 것으로 사료된다. 그리고 총분진에 대한 호흡성 분진의 비율은 개인 폭로 농도와 동일하게 금속제품 제조업에서 비교적 높게 나타났다. 총분진의 허용농도초과율은 제재 및 목재제품 제조업이 80%로 가장 높게 나타났으며, 이 경우는 비교적 타분진에 비해 입경이 큰 분진이 포집되는데 그 원인이 있으며, 제재 및 목재제품 제조업이 60%, 기타 제조업이 6.67%, 화학약품 및 고무제품 제조업과 금속제품 제조업은 6.25%로 나타났다. 호흡성 분진의 개인 폭로 농도에 대한 지역 폭로농도 비는 화학약품 및 고무제품 제조업이 0.74로 가장 높았고 제재 및 목재제품 제조업이 0.35로 가장 낮았으며, 총분진의 경우 제재 및 목재제품 제조업이 1.08로 가장 높았고, 화학약품 및 고무제품 제조업이 0.40으로 가장 낮았다. 그리고 제재 및 목재제품 제조업을 제외한 전공정에 지역환경 폭로농도보다 개인 폭로농도가 현저하게 높았으며, 통계학적으로도 유의한 차이가 있었다.

개인 폭로 호흡성 및 총분진과 지역 폭로 호흡성 및 총분진을 각 업종별로 비교해 보았으나 유의한 차이는 없었다. 국소배기시설 설치 및 총가동율은 28.6%였으며, 보호구의 전체착용율 32.5%였다. 이상에서 살펴본 것과 같이 개인 폭로농도와 지역 폭로농도의 분진 발생농도는 제품 생산시의 사용원료와 작업방법, 작업공정의 폐쇄성 또는 개방도, 국소배기시설의 설치 및 가동율에 직접적인 관계를 가지며, 진폐환자 발생율은 총분진에 대한 호흡성 분진의 발생 비율이 높거나

국소배기 시설의 설치 가동율이 낮을 때, 또는 개인보호구 착용율에 의해 지배 받는다는 것을 알 수 있었다.

따라서 분진의 개인 폭로농도와 지역 폭로농도의 저감 및 진폐환자의 감소를 위해서는 사용원료를 대체하거나, 습식 작업방법 도입과 주요 분진 발생 공정 부서의 격리, 국소배기시설의 설치, 개인 보호구의 철저한 착용교육이 요망되며, 총분진에 대한 호흡성 분진 비율이 높을수록 진폐환자 발생율이 높으므로 현재 우리나라의 노동부 유해물질 허용기준(노동부, 1991)에 설정되지 않은 호흡성 분진의 허용기준의 조속한 설정이 요망되며, 현재까지의 작업환경 측정시 개인시료 채취기(personal air sampler)로써 총분진 위주로 측정하던 방법에 호흡성 분진을 같이 측정하여 보고서 제출시 기록하게 함으로써 환경개선과 근로자 진폐예방 관리의 지표로 삼아야 할 것이다.

결 론

본 연구는 부산시의 사상공단 및 강서구 내에 위치한 제조업체 중 비교적 분진을 많이 발생하는 공정을 가진 작업장을 대상으로 이들 공정에서 발생되고 있는 호흡성 분진과 총분진을 각각 개인 폭로농도와 지역 폭로농도로 구분하여 측정하였다.

이들을 화학약품 및 고무제품 제조업(업종 1), 금속제품 제조업(업종 2), 제재 및 목재제품 제조업(업종 3), 주조업(업종 4), 기타 제조업(업종 5) 등의 5업종군으로 분류하여 각각 개인 폭로농도와 지역 폭로농도의 호흡성 분진과 총분진 농도를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 조사대상의 개인 및 지역 폭로농도의 호흡성 분진과 총분진의 농도는 대수정규 분포를 하였다.

2. 개인 폭로농도 중 호흡성 분진의 기하평균 농도의 수준은 각각 업종 1이 0.55mg/m³, 업종 2가 0.86mg/m³, 업종 3이 0.39mg/m³, 업종 4가 0.81mg/m³, 업종 5가 0.52mg/m³이었고, 총분진의 기하평균농도의 수준은 각각 업종 1이 4.44mg/m³, 업종 2가 3.39mg/m³, 업종 3이 1.

55mg/m³, 업종 4가 5.58mg/m³, 업종 5가 2.46mg/m³이었다. 총분진의 허용농도 초과율은 업종 1이 31.3%, 업종 2가 31.3%, 업종 3이 70%, 업종 4가 80%, 업종 5가 13.3%이었다.

3. 지역 폭로농도 중 호흡성 분진의 기하평균 농도의 수준은 각각 업종 1이 0.41mg/m³, 업종 2가 0.34mg/m³, 업종 3이 0.14mg/m³, 업종 4가 0.62mg/m³, 업종 5가 0.38mg/m³이었고, 총분진의 기하평균 농도의 수준은 각각 업종 1이 1.79mg/m³, 업종 2가 1.20mg/m³, 업종 3이 1.68mg/m³, 업종 4가 2.92mg/m³, 업종 5가 1.38mg/m³이었다. 총분진의 허용농도 초과율은 업종 1이 6.3%, 업종 2가 6.3%, 업종 3이 80%, 업종 4가 60%, 업종 5가 6.7%이었다.

4. 국소배기시설 가동율을 업종별로 살펴보면 업종 1이 68.8%, 업종 2가 12.5%, 업종 3이 40%, 업종 4가 20%, 업종 5가 6.7%이었으며 총 연구 대상 중 28.6%의 가동율을 나타내었고, 작업자의 보호구 착용율에 있어서는 업종 1이 43.8%, 업종 2가 37.5%, 업종 3이 0%, 업종 4가 45%, 업종 5가 20%로 총 32.5%의 착용율을 나타내었다. 또한 진폐증 발생율은 업종 1이 7.3%, 업종 2가 11.3%, 업종 3이 33.3%, 업종 4가 18.1%, 업종 5가 16.7%로 총 13%의 발생율을 나타내었다.

5. 각 업종별 개인 폭로농도와 지역 폭로농도의 호흡성 및 총분진 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 있었으며, 지역환경 폭로농도보다 개인 폭로농도가 높게 나타났다.

6. 제재 및 목재제품 제조업의 경우는 작업장이 개방되었으나, 작업자가 보호구를 전혀 착용치 않았고 총분진에 대한 호흡성 비율이 높으므로 진폐 발생율이 가장 높게 나타났다.

이상의 결과 작업장의 분진 발생농도는 제품 생산시의 사용원료와 작업방법, 작업공정의 폐쇄성, 국소배기시설의 설치 가동에 영향을 받으며, 진폐환자 발생율은 총분진에 대한 호흡성 분진의 발생과 국소배기시설, 개인보호구 착용율 등에 따라 직접적으로 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다. 따라서 앞으로의 작업환경 측정시는 개인 시료 채취에 의한 방법을 위주로 하되 호흡성 분진

위주로 측정을 하여 환경관리 개선과 진폐예방의 지표로 삼아야 할 것이다.

참 고 문 헌

- Holt, P.F.: *Inhaled dust and disease*. John Wiley and Sons, New York, 12-15, 1987.
- 조규상, 이승환, 정규철, 이광목: 산업보건학, 수문사, 153-165, 1989.
- WHO: *Early detection of occupational disease: WHO offset publication*, WHO, Geneva, 9-34, 1986.
- 조규상: 산업보건학. 수문사, 225-250, 1991.
- 대한산업보건협회: 보건진단연차 보고서. 대한산업보건협회, 1990.
- 대한산업보건협회: 특수건강진단 종합연보. 대한산업보건협회, 1990.
- 김준연, 김성천, 이채연, 전진호, 김진옥, 김준연: 제조업 산업장의 분진 작업환경 실태에 관한 조사연구. 인체의학, 7(1): 61-69, 1986.
- 황병문: 유해 작업환경에 관한 조사. 한국의 산업의학, 9(3): 5-17, 1970.
- 김성천, 조태웅: 유해 작업환경 관리에 관한 연구. 한국의 산업의학, 12(2): 1-11, 1973.
- ACGIH: *Threshold limit values and biological exposure indices for 1990-1991, 1991-1992, 1992-1993*, ACGIH, Cincinnati, 1990, 1991, 1992.
- 在野辰雄: 日本の塵肺と粉塵公害 労働科研究所學, 1977.
- Clayton, G.D.: *Particle size analysis in industrial hygiene*. Am. Ind. Hyg. Assoc., 1971.
- Clayton, G.D. et al: *Patty's industrial hygiene and toxicology*, 3rd Revised Ed., John Wiley and Sons, New York, 1981.
- Parmeggiavi, L.: *Encyclopaedia of occupational health and safety*, 3rd, Ed., International Labor Organization, 1983.
- 김광중, 송기창: 모 조선업 작업장의 공기중 용접흄 농도에 관한 조사. 한국산업위생학회지, 1(1): 68-72, 1991.
- 한국산업안전공단: 주물 공장 작업환경 실태조사. 유해 89-112-1, 한국산업안전공단, 서울, 1989.
- 윤영노, 정호근: 태백 지역석탄 광산의 작업부서별 호흡성 분진 폭로농도. 한국산업위생학회지, 1(1): 47-55, 1991.
- 김찬호: 분지의 작업 환경농도와 개인 폭로농도의 비교 연구. 인제대학교 보건대학교, 1992.
- 木村國菊乙, 島影久子: 名種作業場所にあける Total dustの濃度とRespirable dustの濃度, 労働科學 53卷 8號: 475-479, 1977.

상공부 : 한국표준산업분류. 상공부, 1991.

Kight, G. and Lichi, K. : *Comparison of cyclone and horizontal elutriator size selectors*. *Am Ind. Hyg. Assoc. J.*, 31 : 437-441, 1970.

Pittsburg Field Health Group : *Sampling and evaluation of respirable coal mine dust, A training manual*. Washington, Bureau of Mines, 1-4, 12-19, 30, 1971.

Kight, G. and Moore, E. : *Comparison of respirable dust for use in hard rock mines*, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 48 : 354-363, 1978.

Held, J.L. and Cooper, D.W. : *Theoretical investigation of the effects of relative humidity on aerosol respirable fraction*. *Atmos. Envir.* 13 : 1419-1325, 1979.

노동부 : 작업환경측정 실시규정. 노동부 고시 제92-17 호 1992.

OSHA : *OSHA Technical manual*, Vol. 4, U.S., Government Printing office, Washigton, 1 : 8-11, 1990.

WHO : *Evaluation of exposure to air borne particle on the work environment*, WHO offset publication. NO.

80. WHO, Geneva, 22-23, 25, 37-39, 1984.

NIOSH : *NIOSH Manual of analytical mehtods* 3rd Ed., Vol. 1, Method 0500, 0600, US Department of Health Education, and Welfare. DHHS Publ., 1984.

Morse, K.M. : *Problems in the gravimetric measurement of respirable coal mine dust*. *J. Occup. Med.*, 12 : 400-409

APHA-AWWA-WPCF : *Standard mthods*. 15th Ed. APHA, Washington, 20-21, 1981.

노동부 : 유해물질 허용농도. 노동부고시 91-21호, 1991.

與重治 : *作業環境評價 數値表* 日本作業環境協會, 1988.

Gale, H.J. : *Some example of the application of the lognormal distribution in radiation protection*. *Ann. Occup. Hyg.*, 10 : 39-45, 1987.

Esmen, N.A. and Hammad, Y.Y. : *Long-normality of environmental sampling data*. *J. Envir. Sci. Health*, A12:29-41, 1977.