韓國環境衛生學會誌
Kor. J. Env. Hlth. Soc.
Vol. 17,No. 1,32~38,1991

태백지역 석탄광업 굴진부서의 부유분진 농도

윤영노 · 김영식 · 이영신*

근로복지공사 직업병연구소
*서울시립대학교 환경공학과

Suspended Particulate Concentration at the Drilling Site of Underground Coal Mines in Taebaek Area

Young No Yoon · Young Sik Kim · Young Shin Lee

Institute of Occupational Diseases, Korea Labour Welfare Corporation

ABSTRACT

Airborne suspended particulate concentration in drilling sites of underground coal mines in Taebaek area was evaluated. And respirable coal dust exposure level was evaluated. Airborne suspended particulate mass include total suspended particle(TSP) and thoracic particle(TPM). TSP (by open-face filter holder) and TPM(by elutriator) concentration were determined by low volume air samplers. Personal air samplers were attached to the coal workers including drillers, coal cutters, and their assistants. Normality and log-normality of TSP, TPM, and respirable dust(RPM) concentration were tested by Kolmogorov-Smirnov one-sample test. Differences of means of TSP, TPM, and RPM concentration were tested by paired t-test. Relation between TSP, TPM, and RPM with pairs were tested by regression test and Pearson's correlation.

I. 서 론

1989년도에 조사된 전체 직업병의 52%가 진폐증이고 이 중 89%가 석탄 광업에서 차지하고 있고[1] 석탄광산의 작업부서 중에서 굴진부서가 채탄부서 보다도 진폐증의 유병율이 높은 것으로 보고되어 있다.[2,3] 진폐증의 감소를 위해서는 석탄광산의 작업환경 개선이 시급하고 작업환경 개선에 앞서 개선에 필요한 기본적인 자료의 수집이 요구되며 특히 굴진부서에 대한 조사가 시급한 실정이다.

또한 진폐증을 일으키는 석탄분진은 분진의 농도 뿐만 아니라 그 크기도 중요한 의미를 갖고 있는데 기도(respiratory tract)의 특정부위에 퇴적되는 분진과 관계가 있는 것으로 알려져 있다. 다시 말해서 기도에 침적되는 분진의 위치가 입경의 영향을 받으므로[4] ACGIH는 부윤분진 중에서도 기관지 침착성 분진(thoracic particulate)은 폐내의 통기관(lung airway)과 가스교환부위(gas-

exchange region)에 침적되어 유해하게 되는 분진에 적용하며 양적인 면에서 입경의 대수정규분포 누적곡선(cumulativelog-normal function)상의 공기역학경의 중앙값이 10±1.0μm이며 기하표준편차가 1.5(±0.1)인 입경분리 포집효율을 갖는 입자로 구성된 분진을 말하고 호흡성 분진(respirable particulate)은 가스 교환 부위에 침적하는 물질에 적용하며 공기역학경의 중앙값이 3.5μm±0.3μm이며 기하표준편차가 1.5(±0.1)인 입경분리 포집효율을 갖는 입자로 구성된 분진으로 정의하였다.

그러므로 부유분진의 측정에는 총부유분진과 기관지 침착성 분진, 호흡성 분진에 대한 평가가 필요하다. 우리나라 석탄광산의 작업환경에 관한 조사는 수차 이루어져 왔다.[2,3,5~8] 그러나 대부분 허용기준의 부합여부와 호흡성 분진에 관한 조사였으며 작업환경 개선에 관한 자료로 이용될 수 있는 총부유분진 조사와 기관지 침착성 분진에 관한 조사는 별로 이루어지지 않은 실정이다.

석탄광산의 작업환경개선에 관한 공학적 개선설비는 갱내에 부유하고 있는 부유분진을 대상으로 처리하므로 작업환경 개선을 위해서는 갱내 부유분진 농도에 관한 조사가 먼저 이루어져야 한다.

그러므로 본 조사에서는 진폐증 발생의 비중이 가장 큰 석탄광산 중에서 태백지역 석탄광산의 굴진부서를 대상으로 진폐증과 관련이 높은 분진을 평가하기 위하여 부유분진 농도에 관하여 조사하였다.

Ⅱ. 방법 및 재료

1. 조사대상

1988년 7월부터 12월까지 강원도 태백지역의 석탄광산 중에서 모광(母鑛)과 조광(租鑛)중 조사가 가능한 19개 석탄광산을 조사대상으로 선정하였으며, 조사대상 석탄광산의 막장 선정은 갱 도면 상의 가용막장 중 측정이 가능한 막장을 완전무작위 추출방법으로 선정하였다. 부유분진의 조사는 굴진부서에서만 실시하였고 폭로농도 조사대상은 굴진부서의 선산부와 후산부, 채탄부서의 선산부 및 후산부 각 1명씩이었다.

2. 기 기

1) 저유량 공기포집기(low volume air sampler)

총부유분진과 10μm 이하의 분진(기관지 침착성 분진)의 측정에 이용하였으며 사용 전후에 유량 보정계로 유량을 보정하였다. 조사기간 내에 유량의 변동은 없었다. 사용 기종은 Gilian사의 Model Aircon 520DCT로 설정 유량의 ±5% 이내의 오차에서 유량을 일정하게 유지하는 자동 유량보정 기능을 갖고 있으며 직류전원을 사용하였다. 기관지 침착성 분진의 입경분리의 포집은 Sibata사의 다단형 평행판 분립기(elutriator) C-20형을 사용하였다.

2) 개인용 공기포집기(personal air sampler)

호흡성 분진포집용으로써[9~12] 사용 전후에 유량 보정계로 유량을 보정하였다.[10,11,13] 조사기간 중 유량의 변동은 없었다. 사용 기종은 MSA Fixt-Flo Model 1(±5% 이내)과 Flo-lite Pro(±3% 이내)로 자동 유량보정기능이 있는 기종이다.

호흡성 분진의 입경 분리는 10mm nylon cyclone을 사용하였고[13,14] filter holder는 2-piece holder로서 cellulose band로 밀봉하였다.

3) 유량 보정계(Pump calibrator)

비누 거품을 사용하는 일차 표준 유량보정계인 soap bubble calibrator로 저유량 공기 포집기는 Gilian사의 PFS 500DK Deluxe System을, 개인용 공기포집기는 MSA사의 Pump calibrator Model A를 사용하였는데 PFS 500DK Deluxe System은 2ml/min~25ml/min, Model A는 100~4,000 ml/min의 범위의 유량 보정이 가능하다.

4) 직시 천평(Direct-reading electrobalance)

Shimadzu L-200SM으로 0.01mg까지 판독이 가능하다.

3. 재 료

1) membrane filter

호흡성 분진의 포집용으로 공극 0.45μm의 직경 37mm mixed cellulose ester membrane 여지(Gelman사)를 사용하였다.

2) 유리섬유 여과지(glass fiber filter)

총부유분진과 기관지 침착성 분진 포집용으로 직경 55mm 유리섬유 여과지(Gelman사)를 사용

하였다.

4. 측정방법

총부유분진과 기관지 침착성 분진의 포집은 굴진부서의 막장에서 작업에 방해를 받지 않는 3m 이내의 거리 내에서 바닥면으로부터 120cm~150cm 높위의 범위에서 동시 측정하였다. 이때 총부유분진을 포집하기 위한 open-face filter holder의 유입부는 바닥면을 향하도록 하였으며 기관지 침착성 분진을 포집하는 다단형 평행판 분립기의 유입부는 기류 방향에 대해 직각으로 향하도록 하여 수평을 유지하고[15] 두 유입부 간에 서로 영향을 받지 않도록 하였다.

총부유분진과 기관지 침착성 분진의 포집시간대는 작업개시 후 30분 이상 경과하여 작업이 정상적으로 이루어지는 시간대와 점심시간을 제외하고 작업종료 전의 정상적인 작업이 이루어지는 시간대로, 발파를 할 경우에는 발파 후 1시간 이상 경과한 후 굴진 막장 내의 작업이 정상적으로 이루어지고 분진발생이 1교대조의 시간대에서 정상적으로 발생하는 상태(steady state)를 파악하도록 하였다.

호흡성 분진시료의 포집은 개인용 공기포집기를 사용하여 시료를 포집하였으며 포집한 시료는 filter holder의 양쪽 구멍을 마개로 봉한 후 실험실로 운반하여 분진의 무게를 측정하였다.

조사 대상 근로자에게 입갱 전에 개인용 공기포집기를 착용시킨 후 1교대조의 작업시간인 8시간의 근무시간동안 시료를 포집하게 하여[11] 퇴갱시 공기포집기를 회수하였다. 10mm nylon cyclone은 근로자의 작업에 지장을 주지 않으며 머리에서 반경 30cm이내의 범위에서 수직을 유지하도록 왼쪽 옷깃과 주머니 덮개에 clip으로 고정하였다.[10,11,13,16,17]

저유량 공기 포집기의 유량은 20l/min, 개인용 공기포집기는 1.7l/min였다.[13] 여과지는 desiccator에서 24시간 건조시킨 후 측량하였으며 5회 반복하여 산정하였다.

여과지 무게(mg)에 대한 정밀도(시료수×측정수 : 10×10)는 membrane filter가 0.18%(0.15%~0.20%), 유리섬유 여지가 0.04%(0.03%~0.05%)였다.[18]

5. 자료 분석방법

총부유분진과 기관지 침착성 분진 농도와 호흡성 분진의 폭로 농도를 각각 Kolmogorov-Smirnov one-sample test로 정규분포와 대수정규분포의 여부를 검증한 후 선·후산부간의 폭로농도를 짝비교 t-test 하였으며, 굴진부서의 총부유분진과 기관지 침착성 분진 농도, 폭로농도를 짝비교 t-test하였고 상관관계와 회귀분석을 하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

태백지역 석탄광산의 굴진부서의 총부유분진과 기관지 침착성 분진 농도를 저유량 공기포집기로, 호흡성 분진의 굴진, 채탄부서의 폭로 농도를 개인용 공기포집기로 측정조사한 결과는 다음과 같았다.

총부유분진과 기관지 침착성 분진의 경우 여지의 취급시 여지 섬유 한 올이라도 손실된 것과 무게 칭량시 분진의 양의 저울의 눈금 한도의 10배가 되지 않는 0.1mg 이하의 것은 제외하였고[15] 개인용 공기포집기의 test-failure의 지시등이 켜진 것, 호흡성 분진 농도가 높은 곳에서 10mm nylon cyclone의 hopper의 분진이 월류(overflow)한 여지는 자료처리에서 제외하였다.

1. 총부유분진과 기관지 침착성 분진 농도

조사 대상의 석탄광산의 총부유분진과 기관지 침착성 분진 농도는 Table 1과 같으며 총부유분진 농도의 기하평균값은 8.51mg/m^3 기하표준편차는 4.08, 기관지 침착성 분진농도의 기하평균값은 4.04mg/m^3 기하표준편차는 5.26이었다.

노동부 고시의 허용기준을 보면[19] 석탄분진의 총분진은 제2종 분진에 해당되어 허용기준을 5mg/m^{3}으로 설정하고, 기관지 침착성 분진은 기관지 침착성 분진 농도와 폭로농도를 짝비교한 결과 통계적으로 유의한 차가 없는 점을 고려하고 노동부 고시의 허용기준과 비교하여 호흡성 분진의 범위로 간주할 수 있으므로 허용기준을 2mg/m^{3}으로 설정하면 허용기준 초과율은 총부유분진 농도가 58%, 기관지 침착성 분진농도는 58%였다.

총부유분진과 기관지 침착성 분진의 농도 분포

Table 1. Total suspended particulate and thoracic partaiculte concentration in drilling site

Dust type	Cases	Dust concenrtation, mg/m^3				Non-compliance%
		Min-Max	Mg	δg	95% confidence interval	
Total	19	0.8∼58.9	8.51	4.08	0.5∼133.9	57.9 +
Thoracic	19	0.1∼43.8	2.96	5.26	0.1∼ 76.6	57.9 +

Noto : Min=minimun, Max=maximum
Mg=geometric mean, σg=geometric standard deviation(dimensionless)
+ TLV=$5mg/m^3$
+ TLV=$2mg/m^3$

Table 2. Total suspended particulate and dust exposure concentration at drilling site

Dust type	Cases	Dust concentration, mg/m^3				Non-compliance(%)
		Min-Max	Mg	δg	95% confidence interval	
Total	17	1.4∼57.7	7.69	3.57	0.6∼93.1	58.8 +
Respirable	17	0.4∼ 5.2	2.13	2.07	0.5∼ 8.9	52.9 +

Noto : Min=minimun, Max=maximum
Mg=geometric mean, σg=geometric standard deviation(dimensionless)
+ TLV=$5mg/m^3$
+ TLV=$2mg/m^3$

는 대수정규분포(log normal distribution)를 하고 있으며(K-S Z value=0.573, $p>0.05$: K-S Z value=0.531, $p>0.05$)두 농도간에 통계적으로 유의한 차가 있었다(t-value=2.71, $p<0.05$).

총부유분진과 기관지 침착성 분진 농도는 통계적으로 유의한 선형관계가 있었지만 더 정확한 선형식을 구하고자 잔차분석한 결과 2개의 자료를 제외한 선형회귀식을 나타내면 식(1)과 같다($r=0.76$, $p<0.05$).

$$\log C_s = 0.707 \log C_t - 0.043 \cdots\cdots\cdots (1)$$

여기에서 C_t=총부유분진의 농도
C_s=기관지 침착성 분진의 농도

식(1)에서 조사 대상의 석탄광산의 굴진부서에서 발생하는 부유분진은 입경 면에서 조대입자 보다는 기관지 침착성 분진의 비중이 높은 것을 알 수 있다.

또한 기관지 침착성 분진의 입경이 현행 노동부 고시에 의한 작업환경 측정방법의 평행판 분립기에 의한 크기의 범주에 포함시킬 수 있고, 총부유분진과 기관지 침착성 분진의 관계에서 현행 노동부 고시에 의한 허용기준을 총분진과 호흡성 분진으로 분류하여 총분진을 $5mg/m^3$, 호흡성 분진을 $2mg/m^3$로 설정한 점을 재고하는 것이 바람직할 것이다. 다시 말해서 석탄광산의 작업환경 측정 목적이 진폐증의 증가 추세를 감소시키고 예방적인 측면에 있다면 총분진의 허용기준은 호흡성 분진의 허용기준 보다 완화된 점이 있으며 작업환경 개선을 위한 공학적 설비의 선택에 기관지 침착성 분진의 입경범위에 해당하는 크기를 고려하는 것이 바람직할 것이다.

2. 총부유분진 농도와 폭로농도

총부유분진 농도와 폭로농도를 동시에 측정하여 짝을 이룬 조사 결과는 Table 2와 같으며 총부유분진 농도의 기하평균값을 $7.69mg/m^3$ 기하표준편차는 3.57, 폭로농도의 기하평균값은 2.13 mg/m^3 기하표준편차는 2.07이었다. 총부유부진 농도의 59%, 폭로농도의 53%가 허용기준을 초과하고 있다.

총부유진 농도와 폭로농도의 분포는 내수정규분포를 하고 있으며(K-S Z value=0.712, $p>0.05$

: K-S Z value=0.550, p>0.05) 두 농도간에는 통계적으로 유의한 차가 있었다.(t-value=3.98, p<0.05).

총부유분진 농도와 폭로농도는 통계적으로 유의한 상관관계가 없었다(r=0.21, p>0.05).

총부유진 농도는 static sampling이고 폭로농도는 personal sampling이므로 총부유분진 농도와 폭로농도간에 유의한 차이가 있으며 상관관계가 나타나지 않은 것으로 Vincent가 산업장에서 측정한 static sampling에 의한 측정값이 폭로농도의 대표값 보다 더 크거나 작을 수 있다고 지적한[20] 것과 같은 영향으로 간주할 수 있다.

3. 기관지 침착성 분진 농도와 폭로농도

기관지 침착성 분진 농도와 폭로농도를 동시 측정하여 짝을 이룬 결과는 Table 3과 같고 기관지 침착성 분진 농도의 기하평균값은 4.27mg/m^3 기하표준편차는 3.66, 폭로농도의 기하평균값은 2.18mg/m^3 기하표준편차는 2.18이며 허용기준 초과율은 기관지 침착성 분진의 농도가 69%, 폭로농도가 54%를 나타내고 있다.

기관지 침착성 분진 농도와 폭로농도는 대수정규분포를 보이고 있고(K-S Z value=0.420, p.>0.05, K-S Z value=0.430, p>0.05) 두 농도간에 통계적으로 유의한 차가 없었고(t-value=1.84, p>0.05) 또한 유의한 상관관계가 없었다(r=0.20, p>0.05).

4. 굴진부서와 채탄부서의 선후산부 폭로농도

굴진부서와 채탄부서의 선후산부간의 폭로농도는 Table 4와 같다. 굴진부서의 선산부의 기하평균값은 1.49mg/m^3 기하표준편차는 3.03, 후산부의 기하평균값은 1.71mg/m^3 기하표준편차는 2.55, 채탄부서의 선산부의 기하평균값은 3.51mg/m^3 기하표준편차는 3.60, 후산부의 기하평균값은 3.70mg/m^3 기하표준편차는 2.94이었다.

굴진 선산부 46% 굴진 후산부 31%, 채탄 선산부 57%, 채탄 후산부 71%가 허용기준을 초과하였다.

굴진 선후산부와 채탄 선후산부의 폭로농도 모두가 대수정규분포를 하며(K-S Z value=0.803, p>0.05, K-S Z value=0.546, p>0.05, K-S Z value=0.580, p>0.05, K-S Z value=0.473, p>

Table 3. Thoracic particulate and exposure concentration at drilling site

Dust type	Cases	Dust concentration, mg/m^3				Non-compliance(%)
		Min-Max	Mg	δg	95% confidence interval	
Thoracic	13	0.5~43.8	4.27	3.66	0.3~54.3	69.2
Respirable	13	0.4~ 5.2	2.18	2.18	0.5~10.0	53.8

Note : Min=minimun, Max=maximum
Mg=geometric mean, σg=geometric standard deviation(dimensionless)
+ TLV=2mg/m^3

Table 4. Dust exposure concentration of coal workers at work site

Group		Cases	Exposure concentration, mg/m^3				Non-compliance(%)
			Min-Max	Mg	δg	95% confidence interval	
Driller	Principal	13	0.2~ 4.9	1.49	3.03	0.2~13.1	46.2 +
	Assistant	13	0.3~ 7.1	1.71	2.55	0.3~10.7	30.8 +
Coal Cutter	Principal	14	0.3~32.2	3.51	3.60	0.3~43.2	57.1 +
	Assistant	14	0.8~26.9	3.70	2.94	0.4~30.6	71.4 +

Noto : Min=minimun, Max=maximum
Mg=geometric mean, σg=geometric standard deviation(dimensionless)
+ TLV=2mg/m^3

0.05) 굴진 선후산부간의 폭로 농도는 통계적으로 유의한 차가 없었고(t value=-0.47, p>0.05) 채탄 선후산부간의 폭로농도도 유의한 차이가 없었다(t value=-0.28, p>0.05).

굴진 선후산부와 채탄 선후산부의 폭로농도간의 상관관계를 살펴 보면 굴진 선후산부간은 유의한 선형관계가 있으나 보다 정확한 선형식을 구하기 위해 잔차분석한 결과 2개의 자료를 제외한 회귀선형식은 식(2)와 같고(r=0.71, p<0.05), 채탄 선후산부의 폭로농도도 유의한 선형식을 보였으나 잔차분석으로 1개의 자료를 제외하여 구한 선형회귀식은 식 (3)과 같다(r=0.82, p<0.05).

$$\log C_{Da} = 0.576 \log C_{Dm} + 0.205 \quad (2)$$

$$\log C_{Ca} = 0.691 \log C_{Cm} + 0.192 \quad (3)$$

단, C_{Dm} = 굴진 선산부 폭로농도
C_{Da} = 굴진 후산부 폭로농도
C_{Cm} = 채탄 선산부 폭로농도
C_{Ca} = 채탄 후산부 폭로농도

채탄 후산부의 폭로농도를 측정하는데 있어서 채탄 후산부가 작업 중에 개인용 공기 포집기를 착용하고 보갱을 위한 통나무를 등에 진채 작업하는 경우에 개인용 공기포집기의 고장이 자주 일어나므로 이런 경우에는 식(2)와 식(3)을 활용할 수 있을 것으로 사료되며 다만 차후 보다 많은 자료로 선형식을 확인하는 것이 바람직할 것이다.

이상에서 살펴본 것과 같이 향후 석탄광산의 갱내 작업환경 측정이나 작업환경을 평가하는데 있어서 분진의 농도 뿐만 아니라 입경을 고려하여 실시하여야 하며 진폐증의 예방을 위한 제반 대책에 활용하는 것이 바람직할 것이다.

Ⅳ. 결 론

태백지역 석탄광산의 굴진부서와 채탄부서의 공기 중의 부유분진 중 저유량 공기 포집기로 총부유분진과 기관지 침착성 분진의 농도와 개인용 공기포집기를 근로자에게 착용시켜 호흡성 부유분진의 폭로농도를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 굴진부서의 총부유분진 농도의 기하평균값은 8.51mg/m³ 기하표준편차는 4.08, 기관지 침착성 분진농도의 기하평균값은 4.04mg/m³ 기하표준편차는 5.26이고 허용기준 초과율은 총부유분진농도가 58%, 기관지 침착성 분진농도는 58%였다.

2) 굴진부서의 총부유분진과 침착성 분진의 농도 분포는 대수정규분포를 보이고 있으며 두 농도간에 통계적으로 유의한 차가 있었으며 선형회귀관계가 나타났다.

3) 굴진부서에서 발생하는 부유분진은 입경 면에서 조대입자 보다는 기관지 침착성분진의 비중이 높다.

4) 총부유분진농도와 폭로농도간에는 통계적으로 유의한 차가 있었으나 상관관계는 유의하게 나타나지 않았다.

5) 기관지 침착성 분진 농도와 폭로농도간에 통계적으로 유의한 차가 없었고 상관관계도 유의하지 않았다.

6) 굴진부서의 선산부의 기하평균값은 1.49mg/m³ 기하표준편차는 3.03, 후산부는 1.71mg/m³, 2.55, 채탄부서의 선산부의 기하평균값은 3.51 mg/m³ 기하표준편차는 3.60, 후산부는 3.70mg/m³, 2.94였고 굴진 선산부의 46% 후산부 31%, 채탄 선산부의 57%, 후산부 71%가 허용기준을 초과하였다.

7) 굴진 선후산부와 채탄 선후산부의 폭로농도는 모두 대수정규분포를 하며 굴진 선후산부간의 폭로농도와 채탄 선후산부간의 폭로농도의 차가 모두 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

8) 굴진 선후산부간의 폭로농도간의 관계와 채탄 선후산부간의 폭로농도에는 모두 유의한 선형회귀관계를 보였다.

Ⅴ. 참 고 문 헌

1) 대한산업보건협회, 특수건강진단기술협의회 : 특수건강진단종합연보, 대한산업보건협회, 특수건강진단기술협의회, 22~603, 1989.
2) 문우기, 조규상 : 한국 채탄 광부의 진폐증 발생에 관한 역학적 연구, 가톨릭대학 의학부 논문집, 38, 951~961, 1985.
3) 김한주, 윤임중 : 일부 탄광지역 굴진막장의 분진상태와 굴진부 진폐증의 유병율에 대한

역학적 조사, 가톨릭대학 의학부 논문집, 38, 4, 975~985, 1985.

4) ACGIH : Threshold limit values and biological exposure indiecs for 1988~1989, ACGIH, Cincinnati, 45~46, 1988.

5) 백남원 : 한국 산업장의 안전 보건 관리 실태 조사보고서, 한국의 산업의학, 6, 13~26, 1967

6) 노동과학연구소 산업보건연구 담당관실, 백남원 : 분진, 작업장 유해환경 조사 연구, 노동과학연구소, 1986.

7) 이정주 : 석탄광산의 호흡성 분진특성에 관한 연구－영동지역을 중심으로, 서울시립대학 대학원 석사학위논문, 1986.

8) 윤영노, 이정주 : 태백지역 석탄광산의 호흡성 분진 폭로 농도, 한국대기보전학회지, 4, 1, 23~32, 1988.

9) Knight G, Lichti K : Comparison of cyclone and horizontal elutriator size slectors, Am Ind Hyg Assoc J, 31, 437~441, 1970.

10) Pittsburgh Field Health Group : Sampling and evaluation respirable coal mine dust. A training manual, Bureau of Mines, 1~4, 12~19, 30, 1971.

11) Kinght G, Moore E : Comparison of respirable dust for use in hard rock mines, Am Ind Hyg Assoc J, 48, 354~363, 1987.

12) OSHA : Industrial hygiene technical manual, The Bureau of National Affairs Inc., 15~19, 31, 53, 1984.

13) Held JL, Cooper DW : Theoretical investigation of the effects of relative bumidity on aerosol respiable fraction, Atmos Envir, 13, 1419~1425, 1979.

14) 通商産業省 立地公害局 : 鑛山における 粉塵濃度の測定マニュアル--, 鑛業勞動災害防止協會, 東京, 4, 14~15, 18~19, 1986.

15) Morse KM : Problems in the gravimetric measurement of respirable coal mine dust, J Occup Med 12, 400~409, 1970.

16) Clayton GD, Clayton FE : Patty's industrial hygiene and toxicology, vol 3, 3rd ed, John Wiley & Sons, New York, 238, 1978.

17) APHA-AWWA-WPCF : Standard Methods, 15th ed, APHA, 20~21, 1981.

18) 노동부 : 유해물질의 허용농도 및 작업환경측정방법, 노동부, 48, 1986.

19) Lee SD, et al : Aerosols : reserach, resk assessment and control strategies, Lewis Publishers, Inc, Chelsea, 188, 1986.