

간섭식 적외선 분광기에 의한 태백지역 석탄광의 호흡성 분진 중 석영, 운모 및 장석의 정량분석

근로복지공사 진폐연구소

최호춘 · 천용희 · 김해정 · 이정주

Abstract =

Quantitative Analysis of Quartz, Mica, and Feldspar in Respirable Coalmine Dust in Taebaek Area by Fourier Transform Infrared Spectrophotometry

Ho Chun Choi, Ph. D., Yong Hee Cheon, M. D., M. P. H.,
Hae Jeong Kim, Jeong Joo Lee, M. S. E.

*The Institute for Pneumoconiosis
Korea Labour Welfare Corporation*

A Fourier transform infrared spectrophotometric method was described for the determination of quartz, mica(sericite) and feldspar(potassium feldspar) in respirable dust in Taebaek area.

The results were as follows;

- 1) The concentration of minerals were determined from the intensity of absorption peak of quartz at 799 cm^{-1} , sericite at 539 cm^{-1} , and potassium feldspar at 648 cm^{-1} respectively.
- 2) The precision(C. V. %) for the quartz determination was $7.70 \pm 2.68\%$ from 10 to $200\text{ }\mu\text{g}$ of quartz.
- 3) The precision for the sericite determination was $16.34 \pm 6.82\%$ from 30 to $500\text{ }\mu\text{g}$ of sericite.
- 4) The precision for the potassium feldspar determination was $5.28 \pm 1.74\%$ from 30 to $500\text{ }\mu\text{g}$ of potassium feldspar.
- 5) The concentration of respirable dust in Taebaek area was $4.90 \pm 3.29\text{ mg/m}^3$ (0.4-93.7%), percent quartz was $1.80 \pm 4.14\%$ (0.01-20.56%), percent sericite was $11.37 \pm 6.43\%$ (0.00-29.69%), percent potassium feldspar was 8.15% (n=7, 3.41-19.70%).
- 6) The difference of respirable coal dust, quartz, and sericite concentrations in drilling, coal cutting, hauling and seperating was significant respectively (p<0.05).

I. 서 론

탄광부 진폐증은 폐에 탄분진 축적과 이로 인한 조직의 반응으로서, 분진의 광물질 조성에 따라 인체에 주는 건강장애 및 진폐증을 일으키는 양상이 달라진다. 그리하여

이와 관련된 분진의 화학물질에 관한 많은 연구가 시도 되었으며(Rivers 등, 1950; Freedman 등, 1972; Sorenson 등 1974), 이러한 보고에 있어서 선택된 물질은 크게 나누어 무기물로 특히 석영 및 규산염 광물 그리고 중금속을 들 수 있다.

우리나라 태백지역 석탄광산의 지질은 조선계에 속하는

석회암층과 평안계에 속하는 홍점동, 사동동, 고방산동 및 녹암동으로 구성되어 있으며, 사동동은 유일의 가행 가치가 있는 합탄층으로서 그 하부는 세일과 사암외에 석회암이 수반되며 상부는 세일, 사암 및 석탄등으로 구성되어 있다(손치무 등, 1967). 이러한 지역의 채탄은 지상탄이 거의 채진되었으며 대부분이 사함에 의한 심부채탄을 하고 있는 실정으로, 작업환경속에서 발생하는 분진은 이같은 지질을 바탕으로, 다량의 무기물질 중 석영, 운모 및 장석이 비산될 수 있다.

석영 농도는 특히 석탄광부의 진폐 유행율과 밀접한 관계를 가지며(Saric, 1971), 석탄에 함유된 석영의 농도가 높을수록 폐실질의 섬유화 반응이 더 강하다고 하였다(Martin 등, 1974). 또한 서독 Bochum시에 위치한 규폐연구소에서는 석영 뿐만 아니라 인체내 해로운 광물질 분진으로 장석, 운모, 점토성 잔분, 석탄 등을 들었다(정규철, 1983).

인체내에 해로운 광물성 분진 농도를 측정하기 위하여 본 연구에서는 마이크로그램(μg)까지 분석이 가능한 간섭식 적외선 분광기(Fourier transform infrared spectrophotometer, FT-IR)를 이용하여 광물질을 분석하였다.

적외선 분광 분석법이란 전자기 스펙스럼의 적외선 부위의 에너지가 분자내 원자간의 진동에너지와 거의 일치하고 있다는 특성을 이용하고 있는데 특히 세립질의 구조연구와 정성적 및 정량적인 광물상 분석에 사용되고 있으며 석영, 운모, 장석 및 규산염 물질 등은 유사한 파장에서 측정된다(Cares 등, 1973; Gillieson 등, 1977).

그러므로 본 연구에서는 석탄광부들의 건강장해를 일으키는 호흡성 분진 중 석영, 운모 및 장석의 스펙트럼에 대한 상호 방해작용 문제를 밝혀 각각의 독립된 광물성 분진 양을 측정할 수 있는지, 그리고 분석측정의 정밀도를 검토하였다.

또한 적절한 파장 및 방해작용 문제를 고려하여 태백 지역 석탄광의 호흡성 분진 중 석영, 운모 및 장석의 광물질 분진이 얼마나 포함되어 있는나 알아보려고 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 조사대상

태백지역에 있는 34개 석탄광업소의 막장 중 133개소를 임의로 선정하여 작업근로자의 호흡영역에 개인용 분진 포집기를 부착하여 시료를 포집하였다. 이때 시료수는

작업부서별에 따라 굴진부는 47개, 채탄부는 58개, 선탄은 14개 그리고 운반공은 14개이었다.

그러나 측정기의 불량 및 시료의 손실로 말미암아 호흡성 분진 농도는 굴진부가 45개, 채탄이 55개, 선탄은 14개 그리고 운반공은 11개의 시료를 얻어 총 125개이었으며, 석영농도 측정시 굴진부는 44개, 채탄은 58개, 선탄은 14개, 운반공은 14개로 총 130개 시료이었다.

운모와 장석은 석영 농도를 측정할 수 있는 분석범위(10-200 μg)의 시료를 동시에 사용하여, 운모의 정량분석에서 굴진부가 23개, 채탄이 39개, 선탄은 9개, 운반공은 7개로 총 78개의 시료를 분석하였으며, 장석은 총 130개 시료 중 7개 시료에서만 정량분석이 가능하였다.

2. 기 기

석탄광의 호흡성 분진 중 석영, 운모 및 장석을 정량 분석하기 위한 기기는 다음과 같다.

- 1) 개인용 분진 포집기(Personnal dust sampler) : MSA fixt-flo model 1, 10 mm nylon cyclone으로 호흡성 분진을 분리하여 포집한다.
- 2) 직시천평(Electrobalance) : Shimadzu L-200 SM, readability = 0.01mg
- 3) 전기로(Muffle furnace)
- 4) 간섭식 적외선 분광기 : Analet Instrument FX-6160

3. 재료 및 시약

시료의 포집 및 분석에 사용된 재료 및 시약은 다음과 같다.

- 1) Membrane filter : Mixed cellulose ester(Gelman sciences ; 0.45 μm pore size)
- 2) 표준 석영 분말(Qurartz) : Respirable α -quartz (National Bureau of Standard, NBS, standard reference material number 1878, particle size<5 μm)
- 3) 표준 장석 분말(Potassium feldspar) : National Bureau of Standard, NBS, standard reference material number 70 a
- 4) 표준 운모 분말(Sericite)
- 5) 브롬화칼륨(KBr) : 적외선 분광기용

4. 시료의 포집 및 회화

시료포집에 사용된 개인용 분진 포집기의 유량은 평균

1.7 l/min로 하였다. 측정장소는 작업부서별에 따라 굴진부, 채탄부, 선탄 그리고 운반공의 작업 근로자를 선택하여 작업자의 호흡영역에 포집기를 부착하여 사용하였다. 측정시간은 1교대조의 작업시간 동안에 측정이 가능한 시간으로 245분에서 555분간이었으며, 평균시간은 417 ± 85 분이었다.

Membrane filter는 데시케이터에서 24시간 동안 건조

시킨 후 칭량하였으며, 석영농도 측정을 위한 시료의 전 처리는 650°C 전기로에서 2시간 동안 회화시켜 여과지 및 분진의 유기물질을 완전히 파괴시켰다.

5. 간섭식 적외선 분광기의 이용을 위한 시료의 pellet만드는 법

적외선 분광기용 KBr은 습기를 제거하기 위해 110-

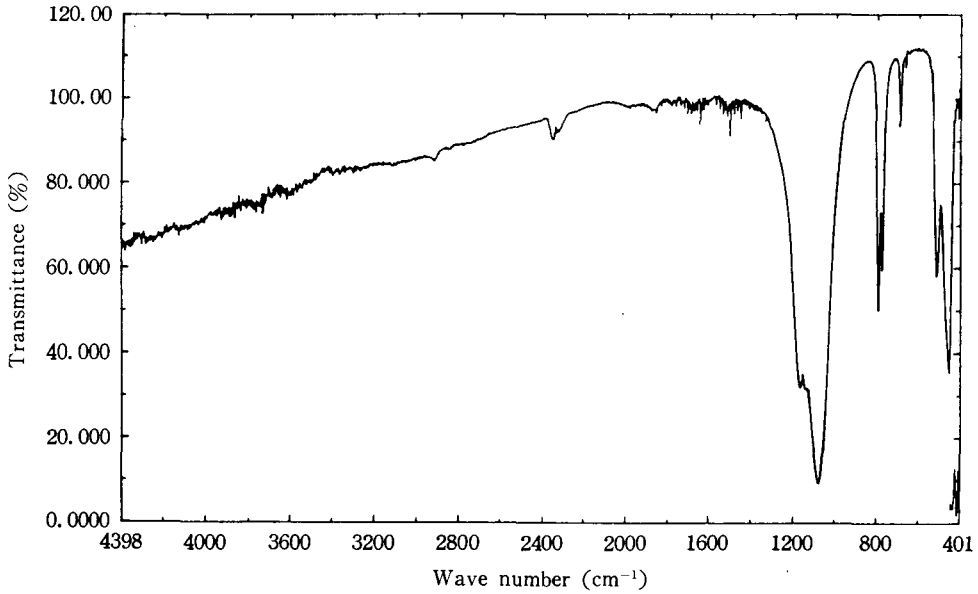


Fig. 1. Infrared absorption spectrum of quartz

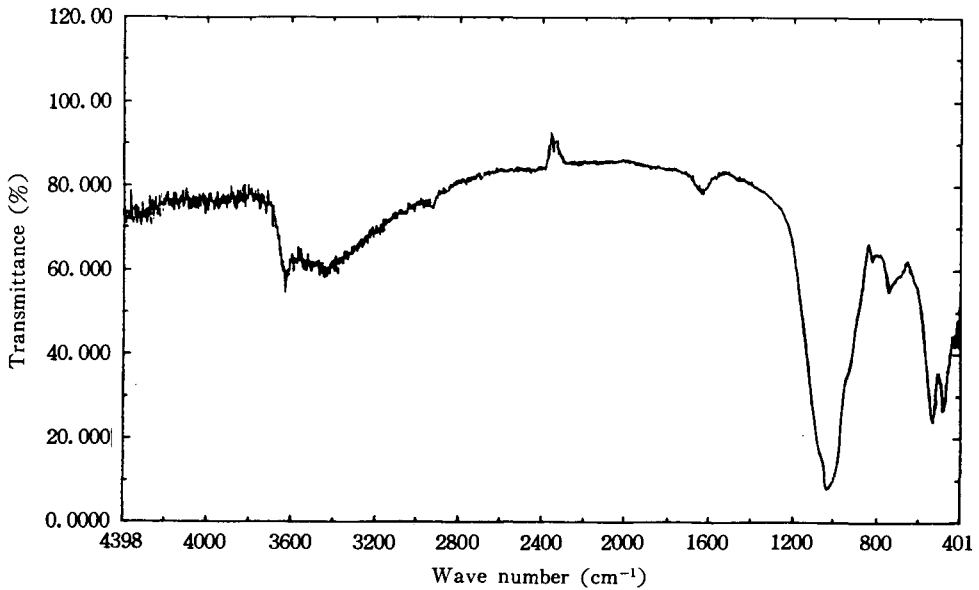


Fig. 2. Infrared absorption spectrum of sericite

120°C에서 하룻밤 동안 건조시킨 후 분쇄기를 사용하여 10분간 분쇄하였으며, KBr과 시료의 적절한 농도비는 시료 0.1-0.8mg에 대하여 80mg의 KBr을 첨가시켰다 (최호춘 등, 1987). 그리고 시료를 KBr과 잘 혼합하여 7 mm die에 넣고 hand press로 5분간 눌러 방치한 후 완성된 pellet를 만들었다.

III. 결 과

1. 석영, 운모 및 장석의 적외선 흡수피크에 대한 상호작용

적외선 흡수 분광법에 의한 광물질의 정량분석을 위하여 표준시료에 대한 석영, 운모 및 장석의 적외선 스펙트럼을 각각 그려본 결과 다음과 같다.

석영의 고유한 흡수피크는 799 cm^{-1} , 779 cm^{-1} 에서 이중 피크가 나타났으며 단일 피크로는 1173 cm^{-1} , 1081 cm^{-1} , 695 cm^{-1} , 517 cm^{-1} , 461 cm^{-1} 를 나타내었다(Fig. 1).

또한 운모는 1031 cm^{-1} , 833 cm^{-1} , 749 cm^{-1} , 539 cm^{-1} , 486 cm^{-1} 의 위치에서 적외선 흡수피크를 보여주었다(Fig. 2).

장석은 1137 cm^{-1} , 1052 cm^{-1} , 1013 cm^{-1} , 771 cm^{-1} , 728 cm^{-1} , 648 cm^{-1} , 605 cm^{-1} , 584 cm^{-1} , 537 cm^{-1} 에서 흡수

피크가 나타났다(Fig. 3).

혼합된 시료에 있어서 3개의 광물질의 정량분석을 위하여는 각각의 흡수피크들 중 서로 겹치지 않는 독특한 피크를 표준으로 하여 측정한다면 서로의 혼합비를 알 수가 있다. 그리하여 Fig. 4, 5, 6과 같이 3개의 물질을 단계적으로 첨가하여 가면서 서로 겹치지 않는 특징피크를 찾아 보았다.

위와 같은 결과 서로 겹치지 않는 특징피크로는 석영일 때 799 cm^{-1} 와 695 cm^{-1} 이며, 779 cm^{-1} 는 다량의 운모와 장석의 존재하에 흡수피크의 겹침현상(overlapping)을 갖게되며, 777 cm^{-1} 로 이동됨을 알 수 있었다.

운모는 833 cm^{-1} 와 539 cm^{-1} 가 특징피크이었으며 833 cm^{-1} 에서는 작은 흡수피크를 보여주었다. 또한 장석은 648 cm^{-1} 가 가장 특징적으로 나타났으며, 석영과 운모가 다량 함유되었을때 728 cm^{-1} 에서는 피크의 겹침현상으로 위치만을 지적하여 주었으며 또한 다른 피크들은 나타나지 않았다.

위와 같이 다성분의 표준시료에 대한 흡수 스펙트럼을 바탕으로 석영, 운모, 장석들의 흡수피크 중 감도가 높으며, 다른 물질의 흡수피크에 영향을 받지 않는 피크를 선택하여 혼합물질과 단일물질 속에 함유된 광물질의 흡광도를 비교해 보았다(Table 1).

이때 석영, 운모 및 장석이 각각 100 μg , 300 μg , 100

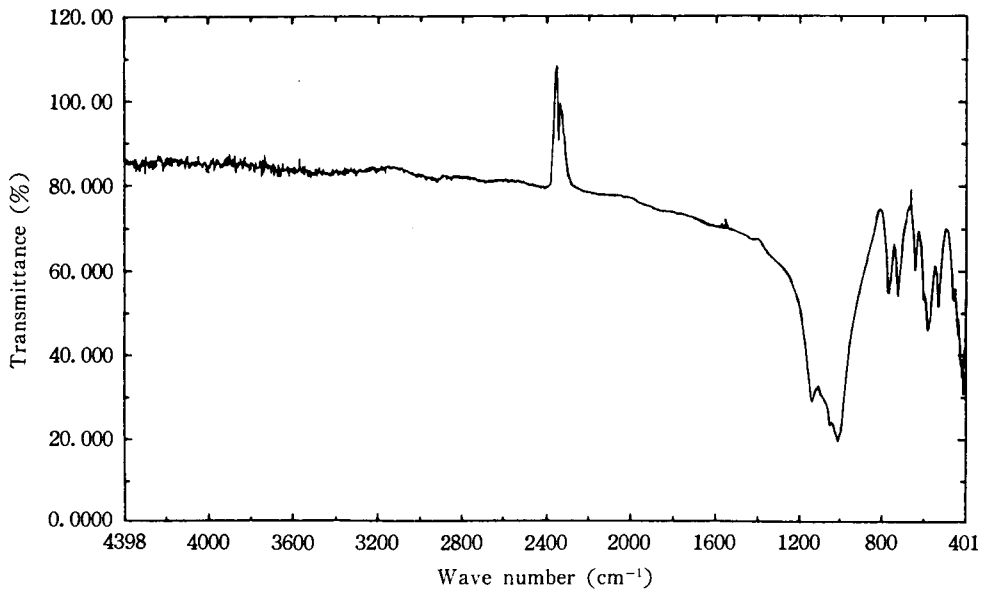


Fig. 3. Infrared absorption spectrum of potassium feldspar

Table 1. Results of absorbance of minerals(O.D.)

Minerals	Wavelength/cm ⁻¹			
	799	695	648	539
Quartz(100 μ g)	0.2855	0.0617		
Sericite(300 μ g)				0.3676
Potassium feldspar (100 μ g)			0.0260	
Mixture(500 μ g)	0.2593	0.0761	0.0238	0.3639

μ g이 혼합된 표준시료에 있어서 적외선 흡광도는 석영의 특징피크인 799 cm⁻¹와 695 cm⁻¹에서 각각 0.2593과 0.0761이었다. 이는 석영 100 μ g의 단일 표준시료에서 나타난 0.2855와 0.0617흡수도와 비슷한 수치를 보여주었다.

운모일 경우 539 cm⁻¹에서 혼합 표준시료는 0.3639, 단일 표준시료는 0.3676이었으며, 장석도 648 cm⁻¹에서 각각 0.0238과 0.0260으로 나타내어 각 성분의 특징피크에서

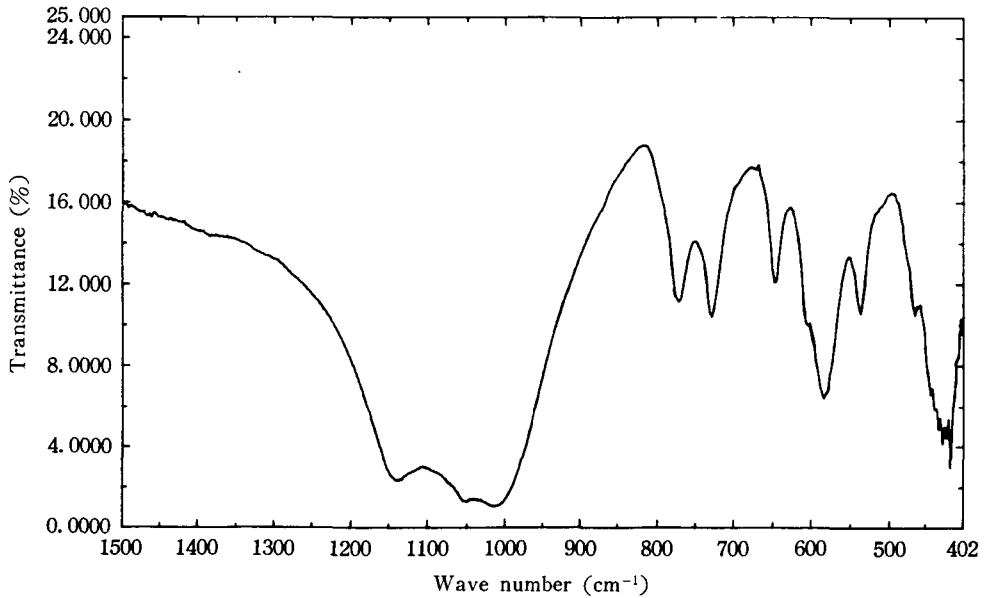


Fig. 4. Infrared absorption spectrum of potassium feldspar from 1500cm⁻¹ to 402cm⁻¹ at wave number

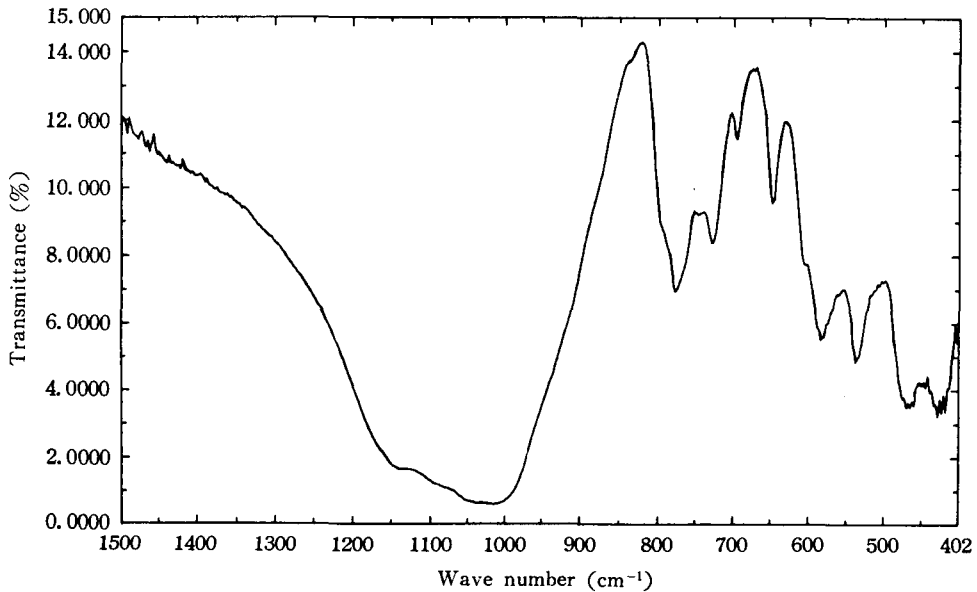


Fig. 5. Composite spectrum of potassium feldspar showing the presence of quartz and sericite

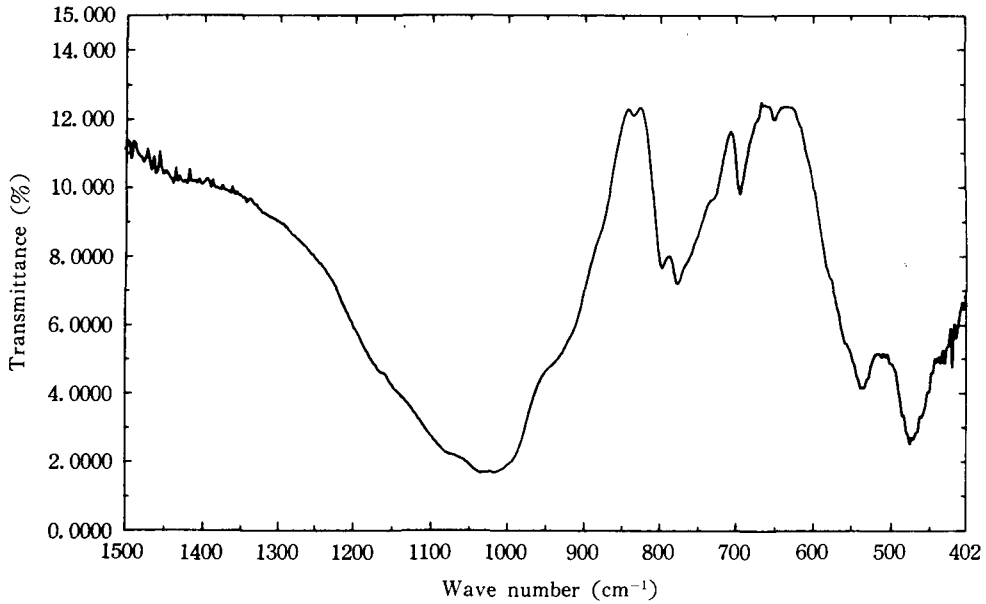


Fig. 6. Composite spectrum of quartz and sericite showing the presence of potassium feldspar

다른 물질의 방해작용을 찾아볼 수 없었다.

또한 석탄광의 갱내 호흡성 분진에 표준시료인 석영, 운모 및 장석을 각각 첨가하여 갱내 분진과 비교해 본 결과 Fig. 7, 8, 9와 같다. 여기서도 마찬가지로 표준시료의 특징피크가 나타났으며, 갱내 호흡성 분진에 의한 스펙트럼의 영향으로 어떤 특징피크는 약간 이동되어 나타

났다.

석영은 799 cm^{-1} , 695 cm^{-1} 위치에서 변화가 각각 $1-2\text{ cm}^{-1}$ 정도로 거의 없었지만, 운모일 경우는 565 cm^{-1} 로 이동되어 나타났으며, 장석이 다량 첨가되었을 경우 석영의 779 cm^{-1} 피크의 모양을 변화시켰으며, 728 cm^{-1} 는 720 cm^{-1} 로, 648 cm^{-1} 는 651 cm^{-1} 로 이동되어 나타났으며

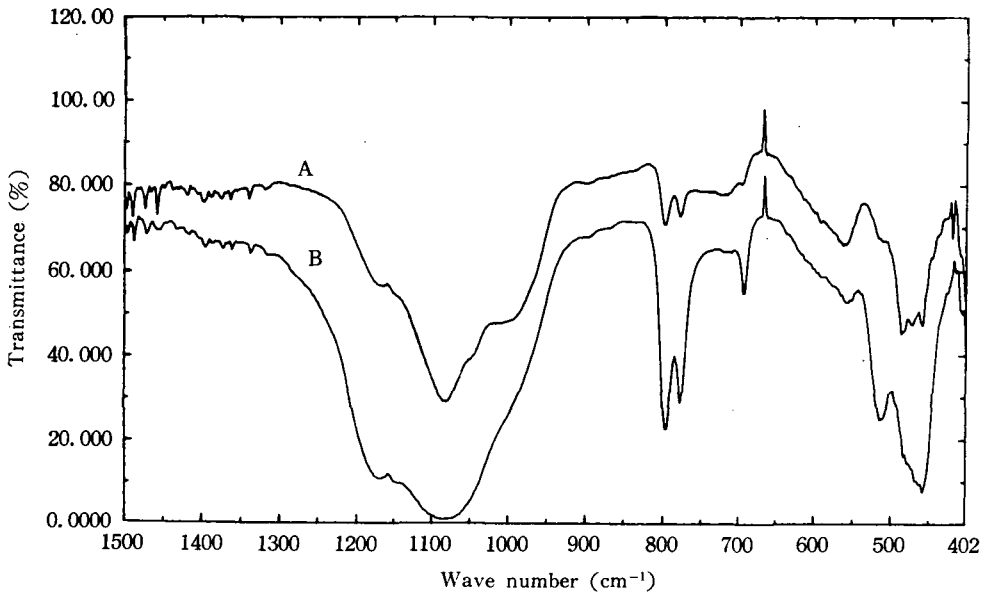


Fig. 7. Infrared absorption spectra of respirable dust from a coalmine in Taebaek area. (A) original spectrum of respirable dust (B) composite spectrum of respirable dust containing quartz

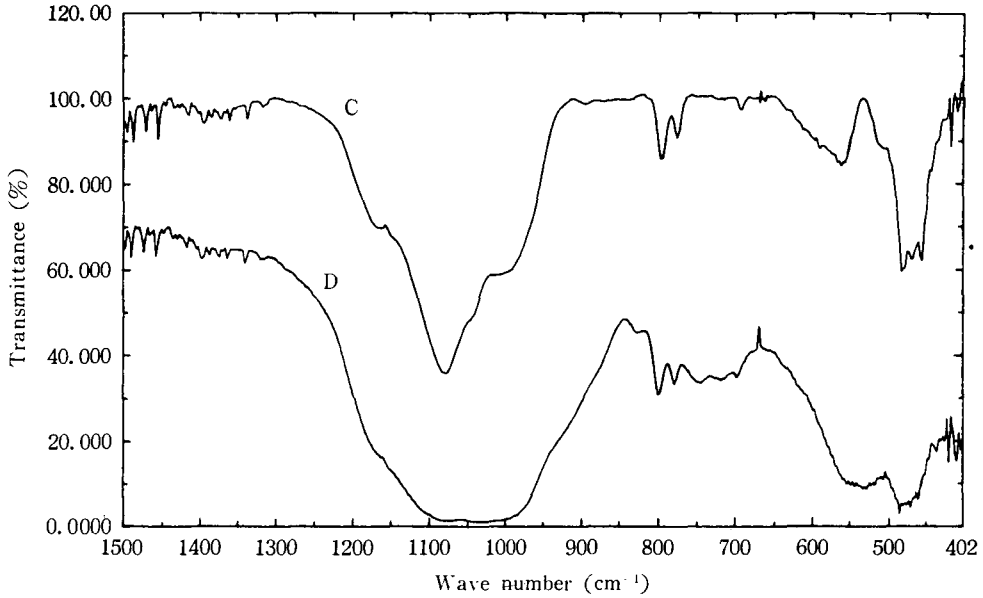


Fig. 8. Infrared absorption spectra of respirable dust from a coalmine in Taebaek area. (C) original spectrum of respirable dust (D) composite spectrum of respirable dust containing sericite

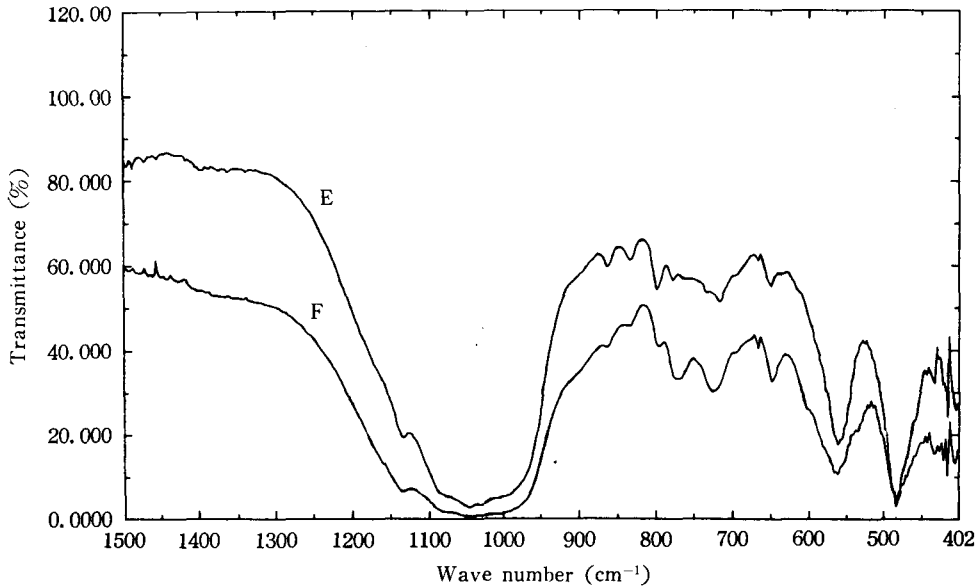


Fig. 9. Infrared absorption spectra of respirable dust from a coalmine in Taebaek area. (E) original spectrum of respirable dust (F) composite spectrum of respirable dust containing potassium feldspar

605 cm^{-1} 는 약간의 턱만 나타내 주었다.

2. 석영, 운모 및 장석의 표준검량곡선

위와 같은 종합적인 광물질의 적외선 흡수피크의 상호작용으로 말미암아 광물질의 표준검량곡선은 표준시

료의 특징피크 중 감도가 높으며, 다른 물질에 대한 방해작용이 적은 파장을 선택하여 검량곡선을 그렸다(Fig. 10).

석영은 799 cm^{-1} 의 위치에서 흡광도를 측정하였으며, 운모는 539 cm^{-1} 위치에서, 그리고 장석은 648 cm^{-1} 의 위

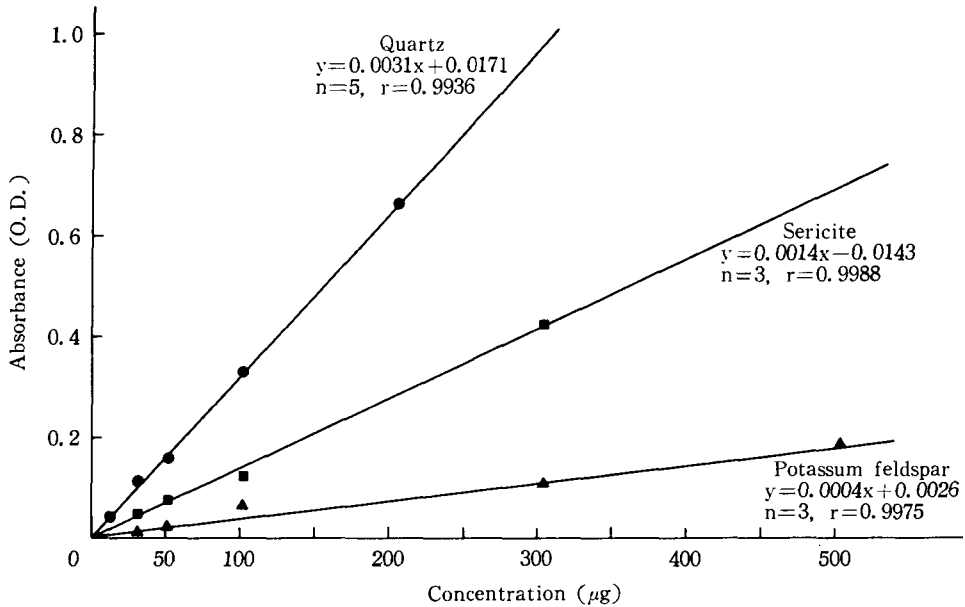


Fig. 10. Standard calibration curves for quartz, sericite and potassium feldspar determinations by Fourier transform infrared spectrophotometry

Table 2. Changes in absorbance and precision for determination of mineral contents

Minerals		Standard concentrations(μg)						Recovery (%)	
		10	30	50	100	200	300		500
Quartz	Mean	0.0348	0.1253	0.1744	0.3276	0.6395		96 \pm 21*	
	S.D.	0.0019	0.0096	0.0134	0.0396	0.0358		105 \pm 8**	
	C.V.(%)	5.46	7.66	7.68	12.09	5.60			
Sericite	Mean		0.0301	0.0535	0.1064		0.4122	0.6531	97 \pm 8
	S.D.		0.0082	0.0077	0.0173		0.0347	0.1006	
	C.V.(%)		27.24	14.39	16.26		8.42	15.40	
Potassium feldspar	Mean		0.0138	0.0209	0.0415		0.1087	0.1887	93 \pm 3
	S.D.		0.0010	0.0009	0.0015		0.0077	0.0078	
	C.V.(%)		7.25	4.31	3.61		7.08	4.13	

치에서 흡광도를 측정하였다.

또한 Table 2에 표준시료 농도에 대한 흡광도, 변이계수 및 감도를 비교하였다.

이때 석영은 10-200 μg 범위의 표준시료에 있어서 평균 변이계수는 7.70 \pm 2.68%이며, 최대 변이계수는 12.09% 이었다. 반면에 회수율은 10-200 μg 에서 96 \pm 21% 이었으며 30-200 μg 에서는 30-500 μg 에서는 105 \pm 8%로 30 μg 이상의 석영 농도를 측정할시 회수율이 높았다. 운모는 30-500 μg 범위의 시료에서 평균변이계수가 16.34

\pm 6.82%, 최대변이계수는 27.24%으로 석영보다 높은 수치를 보여주었다.

또한 회수율은 97 \pm 8%로 나타났다. 장석은 30-500 μg 의 표준시료에서 평균 변이계수가 5.28 \pm 1.74%, 최대 변이계수는 7.25%를 나타냈다. 회수율은 93 \pm 3%이었다.

3. 태백지역 석탄광의 호흡성 분진 및 광물질 농도의 분포도

위와 같은 광물질의 특징피크를 이용하여 태백지역

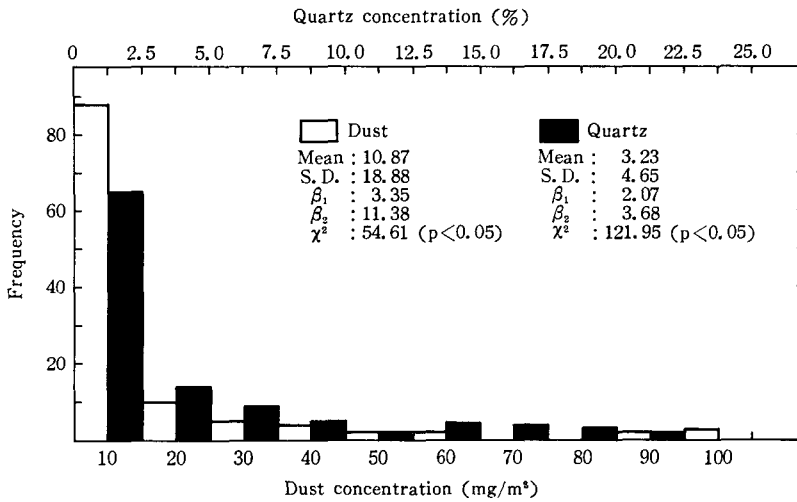


Fig. 11. Distribution of dust concentrations and percent quartz in respirable dust in Taebaek area

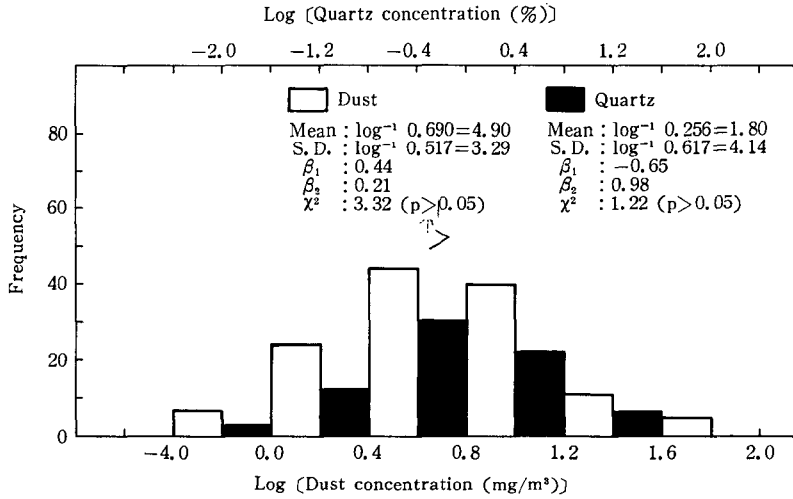


Fig. 12. Distribution of logarithms of dust concentrations and percent quartz in respirable dust in Taebaek area

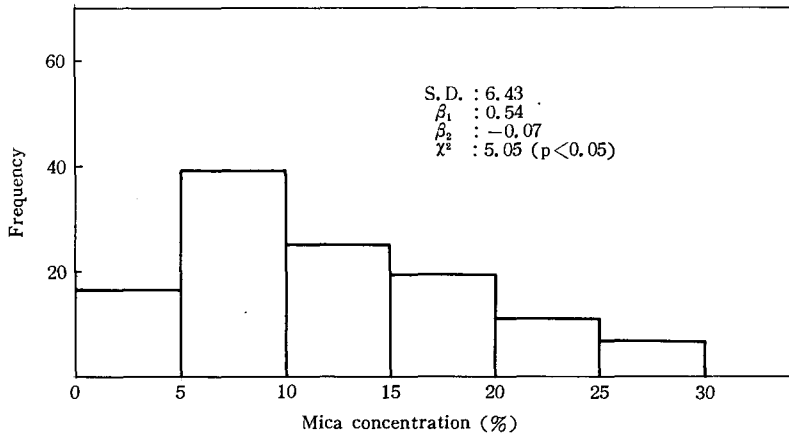


Fig. 13. Histogram of percent mica in respirable dust in Taebaek area

석탄광의 호흡성 분진 중 석영, 운모 및 장석의 농도를 분석하였다. 그 결과 태백지역 석탄광의 호흡성 분진 및 석영 농도에 대한 분포도를 본다면 Fig. 11과 같이 모두 낮은 농도쪽으로 치우쳐진 형태를 보였으며 모두 정규 분선포곡선을 따르지 않았다($p < 0.05$).

그러나 대수 변환치는 호흡성 분진농도가 왜도 $\beta_1 = 0.44$, 첨도 $\beta_2 = 0.21$, $\chi^2 = 3.32$, 석영 농도는 왜도 $\beta_1 = -0.65$, 첨도 $\beta_2 = 0.98$, $\chi^2 = 1.22$ 로 각각 대수정규분포 곡선을 보여주었다($p > 0.05$, Fig. 12). 또한 운모는 Fig. 13과 같이 왜도 $\beta_1 = 0.54$, 첨도 $\beta_2 = -0.07$, $\chi^2 = 5.05$ 로 정규분포 곡선을 나타내 주었다($p > 0.05$). 그러나 태백지역 석탄광의 호흡성 분진 중 장석의 측정은 다량의 운모와 석영을 함유하고 있어 적외선 스펙트럼에서 겹침현상으로 정량 분석할 수 있는 시료가 모두 7개에 지나지 않았다.

장석을 측정할 수 있는 7개의 시료는 다음과 같이 분석되었다(Table 3). 석탄광의 분진 중 7개 시료의 장석 퍼센트 농도는 3.41-19.70%로 평균 8.15%를 나타냈다.

4. 석탄광의 작업부서별에 따른 호흡성 분진 농도 및 화학적 성분비

Table 4에서와 같이 작업부서별에 따라 호흡성 분진 농도는 채탄부가 기하 평균값이 $9.1 \pm 3.0 \text{ mg/m}^3$ 로 높았으며, 석영의 함유량은 굴진부가 $3.94 \pm 4.26\%$ 으로 가장 높게 나타났다.

운모의 함량은 산술 평균값이 운반, 선탄공 굴진 및 채탄부에서 각각 $15.45 \pm 8.33\%$, $13.75 \pm 7.21\%$, $13.05 \pm 6.23\%$, $9.05 \pm 5.26\%$ 으로 석탄 광산의 분진 중 많은 양의 운모가 함유되었음을 알 수 있었다.

또한 작업부서별에 따르는 굴진, 채탄, 운반 및 선탄부에 있어서 호흡성 분진농도 및 분진 중 포함된 석영 및 운모의 퍼센트 농도를 비교해 보기 위하여 정규분포에 따르는 대수변환치 및 산술평균치로 각각 비교해 본 결과, 호흡성 분진농도, 석영 및 운모의 퍼센트 농도는 모두 작업부서별에 따라 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$).

Table 3. Chemical composition of 7 samples prepared from respirable dust in Taebaek area

Colliery		Dust concentration (mg/m ³)	Quartz (%)	Sericite (%)	Potassium feldspar (%)
KD	Hauling	2.1	0.54	9.69	3.41
DB	Seperating	1.5	1.29	22.82	10.12
SS	Drilling	2.4	1.29	14.75	4.16
SW	Hauling	0.5	0.00	19.29	5.95
JA	Hauling	0.6	1.52	19.70	19.70
HS	Coal cutting	2.2	0.27	—	6.43
HS	Drilling	2.2	2.08	—	7.27
Mean		1.6	1.00	17.25	8.15

Table 4. Results of respirable dust, percent quartz and percent sericite by site

Sampling sites	Respirable dust conc. (mg/m ³)*				Percent quartz (%)*				Percent sericite (%)*			
	Geometric				Geometric				Arithmetic			
	Mean	S.D.	Min.	Max.	Mean	S.D.	Min.	Max.	Mean	S.D.	Min.	Max.
Drilling	3.0	2.5	0.5	60.0	3.94	4.26	0.01	20.56	13.05	6.23	0.54	24.63
Coal cutting	9.1	3.0	1.5	93.7	1.02	3.29	0.09	16.50	9.05	5.26	0.00	25.56
Seperating	5.2	3.0	1.2	27.8	1.55	2.33	0.20	5.75	13.75	7.21	2.84	24.11
Hauling	1.5	2.4	0.4	5.7	1.25	4.76	0.03	7.78	15.45	8.33	4.50	29.69
ALL sites	4.9	3.3	0.4	93.7	1.80	4.14	0.01	20.56	11.37	6.43	0.00	29.69

* : $p < 0.05$

IV. 고 찰

기원에 따라 석탄의 성분은 침착된 암석층으로 사암, 니암, 패암, 운모와 때로는 석회암과 밀접한 관계를 가져, 이러한 암석 함유성분의 차이는 석탄광산에 따라 그리고 같은 탄광에 있어서도 볼 수 있으며 이 성분의 차이는 진폐발생에 영향을 주는 것으로 본다고 하였다(조규상, 1985).

또한 우리나라 태백지역의 석탄을 둘러싸고 있는 지층은 조선계에 속하는 석회암층과 평안계의 홍점통, 사동통, 고방산통 및 녹암통으로서 대부분이 세일, 사암 및 석회암 등으로 되어 있다. 사암은 일반적으로 석영분이 주가 되며 때로는 다량의 장석을 포함하고 있다. 세일은 점토나 니토가 불안정하게 응고한 퇴적암으로 카올리나이트, 할로이사이트, 펠로필라이트와 같은 함수규산 마그네슘을 포함하며, 이때 운모질이나 녹니석 광물과도 섞이게 되며, 또한 석영, 장석 등 규산염 광물이 함유되는 것이 보통이다. 이러한 암석의 성분으로 말미암아 석탄광산의 부유분진은 석영, 운모 및 장석을 포함하고 있다.

특히 석영은 근로자들의 건강장해를 일으키는 물질로 많이 알려져 왔다. Saric 등(1971)은 석탄에 함유된 석영농도가 진폐 유발률과 밀접한 관계를 갖는다고 하였으며, 여러나라에서는 석탄분진 중 함유된 석영농도를 고려하여 분진의 허용한계를 달리 정하고 있다. 우리나라 및 미국 산업 위생 전문가 회의(American Conference of Governmental Industrial Hygienist, ACGIH)에서는 호흡성 분진의 허용농도를 석영 5% 미만일 때 $2\text{mg}/\text{m}^3$ 로 하였으며, 5% 이상에서는 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 로, 분진 중 석영농도 함유량이 높을 때는 분진의 허용기준치가 매우 낮아졌다.

석영 뿐만 아니라 서독 Bochum시에 위치한 규폐연구소에서는 인체내 해로운 광물성 분진에 대한 위험인자를 적용하여 분진성분에 따라 인체내에 미치는 유해도를 계산하였다. 석영은 1.0, 장석 및 운모는 석영 함유량이 25% 이상일 때 0.7, 25% 이하는 0.5이며 석영을 함유하지 않았을 때는 0.3으로 규정하였다(정규철, 1983).

Skulberg 등(1985)은 운모 진폐증의 66예 중 26예 만이 순수운모에 의한 진폐증의 원인이 되었으며, 운모 진폐증은 보통 석영이나 장석과 같은 다른 광물질과 혼합분진이 되어 폭로된다고 하였다. 다른 광물질들과 혼합되어 나타날 때는 또한 생화화적인 상호작용이 문제가 되어

ACGIH에서는 1% quartz가 덜 포함된 운모 분진에 대하여 허용기준(threshold limit values)을 20 millions of particles/cubic foot로 추천하고 있다.

독일연방국에서는 운모는 nuisance dust로 분류하고 위생학적인 표준을 요하네스버그회의에서 한정한 호흡성 분진에 대하여 $8\text{mg}/\text{m}^3$ 로 하였다. 또한 노르웨이에서는 $5\mu\text{m}$ 이하의 입자크기의 분진은 $4\text{mg}/\text{m}^3$ 로, 그리고 총 분진은 $6\text{mg}/\text{m}^3$ 로 하였다. 이와 같이 혼합분진의 성분 퍼센트에 따라 허용농도를 달리 정하는 것은 인체에 관여되는 생화화적인 상호작용의 위험도가 다른 것으로 생각된다.

그래서 본 연구는 석탄광산의 작업 근로자들의 건강장해가 되는 석영, 운모 및 장석을 분석하고자 하였다.

석탄광산의 작업환경 평가를 하기 위하여 사용되는 개인용 분진포집기는 아주 적은 양의 호흡성 분진이 포집되며, 이러한 적은 양의 분진 성분을 분석하기 위해서 이용된 분석기기로는 그동안 적외선 분광기를 사용하였지만 미량의 석영농도를 측정하기에는 어려웠다(Goldberg 등, 1973; Larsen 등, 1971).

그러나 FT-IR은 적외선 분광기의 발달로 말미암아 급진적으로 기술개발에 혜택을 입고 나타난 분석법이라 할 수 있다. 특히 파이로 전기의 검출기가 개발되어 적외선 전 파장에 걸쳐 신속히 응답할 수 있어 시료를 분석하는데 매우 적은 시간이 걸리며, 소형의 He-Ne laser의 생산이 가능하여 광학적인 감속도를 정확히 측정할 수 있으며 microprocessor나 minicomputer가 적외선 분광기에 내장되어 Fourier급수를 순식간에 전개할 수 있는 능력을 갖는다.

또한 시료 중에 함유된 낮은 농도의 물질은 투과도의 확장으로 말미암아 투과율이 0.15%인 시료까지 선명한 스펙트럼을 얻을 수 있는 높은 감도로 인하여 지금까지 분석이 어려운 초미량 분석이 가능하게 되었다.

그리하여 FT-IR에 의해 석탄광산의 호흡성 분진 중 미량으로 함유된 석영, 운모 및 장석을 분석하였다.

그러나 석영, 운모 및 장석은 규산염 광물로 적외선 흡수피크가 유사한 파장으로 측정된다. 그리하여 본 연구에서는 우선 석영, 운모 및 장석에 대한 단일 흡수 스펙트럼을 그려 보았으며(Fig. 1, 2, 3), 또한 혼합된 시료에 있어서 3개의 광물질의 정량분석을 위하여 각각의 흡수 피크들 중 겹치지 않는 특징피크를 찾아보았다(Fig. 4, 5, 6).

이때 석영은 799 cm⁻¹와 695 cm⁻¹에서 운모와 장석의 피크와 겹치지 않았으며 779 cm⁻¹는 다량의 운모와 장석이 존재할 때 흡수피크가 777 cm⁻¹로 이동되며 겹침현상을 보여 주었다.

Goldberg 등(1973)은 석영을 측정할 때 795 cm⁻¹와 780 cm⁻¹를 선택하였으며, Larsen 등(1971)은 800 cm⁻¹를 선택하였다.

Giellieson 등(1971)은 석영측정에 있어서는 12.5 μ(800 cm⁻¹)파장에서 100퍼센트의 운모와 장석은 작은 피크로 나타내기 때문에 가장 방해작용이 적은 위치라고 하였으며, 12 μ(829 cm⁻¹)에서 작은 운모피크와 12.8 μ(777 cm⁻¹)에서 작은 장석피크를 보여 주었다.

본 연구에서도 이와 마찬가지로 833 cm⁻¹에서 작은 운모피크를 나타내어 운모를 정량하기에는 타당하지 않았으며, 장석은 728 cm⁻¹에서 석영과 운모가 다량 함유되었을 때 겹침현상으로 피크를 나타냈으며, 648 cm⁻¹에서 가장 특징적이었다.

또한 특징피크를 찾기 위한 정성적인 분석방법을 탈피하여, 석영, 운모 및 장석의 혼합물질과 각각의 단일 물질을 이용한 정량적인 측정방법을 사용하여, 상호방해작용을 알아본 결과 위와 같은 결과를 얻었다(Table 1).

그러나 석탄광의 분진 표준시료인 석영, 운모 및 장석을 첨가한 결과 석영은 피크의 위치에 변화가 거의 없었지만 장석은 648 cm⁻¹는 651 cm⁻¹로 이동되어 나타났으며 운모는 565 cm⁻¹로 이동되어 나타났다. 이것은 석탄광의 호흡성 분진이 많은 광물질들이 혼합된 결과라 생각된다.

위와 같은 결과 다른 물질에 영향을 받지 않는 흡수 피크에서 석영, 운모 및 장석에 대한 흡광도를 측정하였다(Table 2). 이때 석영은 10-200 μg에서 평균 변이계수가 7.70±2.68% (5.46-12.09%)로, 미국 Bureau of Mine의 Dust Division에서 제출된 보고서의 25-160 μg에서 상대표준오차(relative standard deviation)가 13-22%이며, Taylor(1977)의 30 μg의 석영일 때 정밀도(precision)가 15%인 것보다 좋은 결과를 얻었다. 그러나 간섭적외선 분광기에 의한 정밀도가 다른 분석기기보다 낮은 것은 적은 양의 분진시료를 다루기 때문이다.

위와 같은 방법으로 태백지역 석탄광의 호흡성 분진 중 석영, 운모 및 장석의 농도를 분석한 결과 호흡성 분진 농도는 기하평균 4.90±3.29 mg/m³, 석영 농도는 1.8±4.14%, 운모는 11.37±6.43%로 나타났다(Fig. 12, 13).

그러나 석탄광산의 호흡성 분진의 농도 및 석영 농도는

작업부서에 따라 다르므로(최호춘 등, 1987), Table 4에서와 같이 작업부서에 따라 비교하여 보았다. 이때 1987년도 태백 및 강릉지역 석탄광산의 호흡성 분진 및 석영 농도와 마찬가지로 작업부서에 따라 차이가 있었다(p < 0.05).

또한 최호춘 등(1987)에 의한 1987년 태백지역 석탄광산의 굴진부는 호흡성 분진 농도가 기하평균 1.34±2.81 mg/m³이었으며 석영 농도는 4.24±2.59% (0.58-24.12%), 채탄부는 호흡성 분진 농도가 2.55±2.61 mg/m³, 석영은 1.39±2.22% (0.40-5.85%)를 나타냈다. 그러나 본 연구에서는 굴진부의 호흡성 분진 농도가 3.0±2.5 mg/m³, 석영은 3.94±4.26% (0.01-20.56%)를 나타냈다. 여기에서 호흡성 분진 농도는 본 연구에서 더 높은 값을 나타냈지만(p < 0.05) 석영농도가 차이가 없는 것은(p < 0.05), 호흡성 분진 농도는 작업자의 작업조건에 따라 영향을 받지만 석영 농도는 같은 지질에 의한 결과라 생각된다.

V. 결 론

석탄광부들의 건강장해를 일으키는 호흡성 분진 중 석영, 운모 및 장석을 정량 분석하고자, 간섭적외선 분광기에 의한 광물질들의 상호 방해작용 및 정밀도를 측정하였다.

또한 태백지역 석탄광의 호흡성 분진 중 석영, 운모 및 장석의 농도를 측정하였다.

1) 석영, 운모 및 장석에 대한 각각의 특징피크는 석영이 799 cm⁻¹, 695 cm⁻¹, 운모는 539 cm⁻¹, 장석은 648 cm⁻¹이었다.

2) 석영은 10-200 μg 범위에 있어서 정밀도(C. V.%)가 7.70±7.68% (5.46-12.09%)이며 회수율(recovery%)은 10-200 μg에서 96±21%, 30-200 μg에서 105±8%이었다.

3) 운모는 30-500 μg에서 정밀도(C. V.%)는 16.34±6.82% (8.42-27.24%), 회수율은 97±8%이었다.

4) 장석은 30-500 μg에서 정밀도(C. V.%)는 5.28±1.74% (3.61-7.25%), 회수율은 93±3%이었다.

5) 태백지역 석탄광의 호흡성 분진 농도의 기하평균 값은 4.90±3.29 mg/m³ (0.4-93.7 mg/m³), 석영은 1.8±4.14% (0.01-20.56%), 운모는 산술평균 값이 11.37±6.43% (0.00-29.69%), 장석은 8.15% (n=7, 3.41-19.70

%)이었다.

6) 태백지역 석탄광의 호흡성 분진 농도 및 그 화학적 성분의 비(석영, 운모)는 모두 작업부서별(굴진부, 채탄부, 선탄부, 운반부)에 따라 차이가 있었다($p < 0.05$).

참 고 문 헌

- 손치무, 정창희, 김봉균, 이상만. 삼척탄화 정밀 조사 보고. 탄전지질 조사보고. 국립지질조사소, 1967, 쪽. 49-72
- 정규철. 진폐증의 예방대책. 진폐 학술 발표회. 노동부, 1983, 쪽. 25-37
- 조규상. 탄광부 진폐증. 진폐증. 카톨릭산업의학센터, 1985, 쪽. 235
- 최호춘, 천용희, 운영노, 김해정. 태백 및 강릉지역 석탄광의 호흡성 분진과 석영 농도에 관한 조사. 예방의학회지 1987; 20 : 261-269
- Cares JW, Goldin AS, Lynch JJ, Burgess WA. *The determination of quartz in airborne respirable granite dust by infrared spectrophotometry. Am Ind Hyg Assoc J* 1973 ; 34 : 298-305
- Freedman RW, Sharkey AG. *Recent advances in the analysis of respirable coal dust for free silica, trace elements, and organic constituents. Ann NY Accad Sci* 1972 ; 200 : 7-16
- Gillieson AH, Farrell DM. *The determination of quartz in dusts by infrared spectroscopy. Can Spectrosc* 1971 ; 16 : 21-26
- Goldberg SA, Raymond LD, Taylor CD. *Bureau of mines procedure for analysis of respirable dust by infrared spectroscopy. Am Ind Hyg Assoc J* 1971 ; 32 : 367-372
- Larsen DJ, Doenhoff LJ, Crable JV. *The quantitative determination of quartz in coal dust by infrared spectroscopy. Am Ind Hyg Assoc J* 1971 ; 32 : 367-372
- Martin JC, Moussard D, Bouffant LL, Policard A. *The role of quartz in the development of coal workers' pneumoconiosis. Ann NY Acad Sci* 1972 ; 200 : 127-141
- Rivers D, Wise ME, King EJ, Nagelschmidt G. *Dust content, radiology, and pathology in simple pneumoconiosis of coal workers. Brit J Industr Med* 1960 ; 17 : 87-108
- Saric M. *Prevalence of coal workers' pneumoconiosis in Yugoslavia. Ann NY Accad Sci* 1972 ; 200 : 301-305
- Skulberg KR, Gylseth B, Skaug V, Hanao, R. *Mica Pneumoconiosis-A literature review. Scand J Work Environ Health* 1985 ; 11 : 65-74
- Sorenson JRJ, Kober TE, Petering HG. *The concentration of Cd, Cu, Fe, Ni, Pb and Zn in bituminous coals from mines with differing incidences of coal workers' pneumoconiosis. Am Ind Hyg Assoc J* 1974 ; 35 : 93-98
- Taylor DG. *NIOSH manual of analytical methods. Vol. 1. Cincinnati, NIOSH, 1977, 110-1-110-6*