

## 우리나라 일부 광물중 석면섬유의 함유에 대한 조사

한국산업안전공단 산업보건연구원, 서울대학교 보건대학원\*,  
일본 노동성 산업의학 총합연구소\*\*, 일본 나고야 시립위생연구소\*\*\*

최정근 · 백도명\* · 백남원\* · Naomi Hisanaga\*\* · Kiyoshi Sakai\*\*\*

### — Abstract —

### A Study on Several Minerals Contaminated with Asbestiform Fibers in Korea

Jung Keun Choi, Do Myung Paek\*, Nam Won Paik\*,  
Naomi Hisanaga\*\*, Kiyoshi Sakai\*\*\*

*Industrial Health Research Institute, KISCO, Korea,*

*\*School of Public Health, Seoul National University, Seoul, Korea,*

*\*\*National Institute of Industrial Health, Ministry of Labor, Japan,*

*\*\*\*Nagoya City Health Research Institute, Japan*

A worker employed in a serpentine mine was found developed mesothelioma as the first case of Korea in 1997. Asbestos was known as a causative agent for mesothelioma. Thus, asbestos contamination in mines could be a big health threat to those workers who were unknowingly exposed. However, there was no report that any minerals found in Korea contained asbestos. This study was carried out to find the presence of any asbestiform fibers in minerals which could be obtained in Korean mines. We examined fifteen minerals from 44 mines which were suspected contaminated with asbestiform fibers. Asbestiform analysis was done with high resolution transmission electron microscope(TEM), with energy dispersive X-ray spectroscopy(EDX) and X-ray diffraction(XRD) analyses. Among asbestiform fibers, chrysotile was found in chrysotile, serpentine, talc and pyrophyllite specimens from 11 mines. Tremolite was found in tremolite and talc specimens from three mines. Mordenite was found in zeolite specimens from two mines. Wallastonite and sepiolite were found in wallastonite and sepiolite specimens respectively. Crocidolite, antigorite and actinolite were found from talc specimens. But no asbestiform fiber contaminants were found in doromite, vermiculite, limestone, marble, gypsum, kaolin, and clary specimens.

Thus, these asbestiform fibers such as chrysotile, tremolite, mordenite, crocidolite, antigorite and actinolite could be the responsible agents for the health hazards such as mesothelioma and other cancers.

**Key Words :** Minerals, Asbestos contamination, Asbestiform fiber, TEM, EDX

# I. 서 론

석면은 폐암과 중피종암, 석면폐증 이외에도 복막암, 장관계암, 유방암, 난소암, 고환암, 무기폐와 기흉, 늑막염 등의 폐질환을 일으키는 것으로 보고되고 있다(Becklake, 1976; Browne, 1991).

우리나라에서 석면에 노출되는 형태는 다양하다. 석면을 이용하여 제품을 만드는 석면방직 사업장이나 브레이크 라이닝 사업장에서 석면에 노출되어 석

면관련 질환을 발생한다는 것은 캐나다와 영국, 남아프리카 지역을 비롯한 많은 나라에서 연구되었고 이미 밝혀져 있다(Doll, 1955; Wagner 등, 1960; Berry 등, 1979; McDonald 등, 1977, 1983; Selikoff, 1981; Finkestein, 1982). 또 한가지의 노출경로는 광물에 석면이 함유되어 채광하거나 가공하는 과정에서 석면의 노출을 들 수 있다. 이미 외국에서는 토양이나 광물에 석면섬유가 함유되어 지역적인 폐암이나 중피종암 등의 높은 발생을 보고하고 있으나(Artvinii 등, 1979) 우리나라 광물 중

Table 1. Minerals contaminated with asbestiform fibers determined by TEM

Minerals	Mine and Samples	Results of Analysis	
		Fiber*	Type
Chrysotile	CNKC A <sup>#</sup>	(+) chrysotile	
	CNKC B <sup>#</sup>	(+)	chrysotile
Serpentine	KBAD A <sup>#</sup>	(+)	chrysotile, aluminum silicate
	KBAD B <sup>#</sup>	(+)	chrysotile, silicate fiber
	KWYW	(+)	chrysotile
	KBYY	(+)	chrysotile, natrium,sulfur fiber
	CNSS	(+)	chrysotile
	CNHS	(+)	chrysotile
	CBJC	(-)	
Doromite	KWYW A <sup>##</sup>	(-)	
	KWYW B <sup>##</sup>	(-)	
Tremolite	CNHS A <sup>#</sup>	(+)	tremolite, actinolite, silicate fiber
	CNHS B <sup>#</sup>	(+)	tremolite
Wollastonite	KWYW	(+)	wallastonite
	I	(+)	wallastonite
Sepiolite	C	(+)	sepiolite
Talc	CBCJ	(+)	chrysotile
	CBDY	(-)	silicate fiber
	CBJW	(-)	
	CNKJ A <sup>#</sup>	(-)	
	CNKJ B <sup>#</sup>	(+)	chrysotile, silicate fiber
	C PD	(-)	
	C KL A <sup>##</sup>	(-)	
	C KL B <sup>##</sup>	(+)	crocidolite
	C SD A <sup>##</sup>	(+)	tremolite, actinolite
	C SD B <sup>##</sup>	(+)	actinolite, antigorite
Pyrophyllite	KBBH	(-)	aluminum silicate fiber
	JNWD A <sup>#</sup>	(-)	aluminum silicate fiber
	JNWD B <sup>#</sup>	(-)	aluminum silicate fiber
	JNWD C <sup>#</sup>	(+)	chrysotile, aluminum silicate fiber
	JNWD D <sup>#</sup>	(-)	aluminum silicate fiber



Table 1. Minerals contaminated with asbestiform fibers determined by TEM

Minerals	Mine and Samples	Results of Analysis	
		Fiber*	Type
Zeolite	KBPH	(-)	aluminum silicate fiber
	KBYI A <sup>#</sup>	(+)	mordenite, clinoptilolite
	KBYI B <sup>#</sup>	(+)	mordenite, clinoptilolite
Vermiculite	Z	(-)	
	C	(-)	
Limestone	KWYW A <sup>#</sup>	(-)	aluminum silicate fiber
	KWYW B <sup>#</sup>	(-)	rutile, aluminum silicate fiber
	CBJC	(-)	rutile, aluminum silicate fiber
Marble	KWJS	(-)	aluminum silicate, silica fiber
Gypsum	C	(-)	aluminum silicate fiber
Kaolin	KBPH	(-)	aluminum silicate fiber
Clary	KBPH	(-)	
	KNHD	(-)	aluminum silicate fiber

Fiber\* ; (+): Contaminated with asbestiform fibers by transmission electron microscope(TEM), (-): No contamination with asbestiform fibers by transmission electron microscope(TEM)

A<sup>#</sup>, B<sup>#</sup>, C<sup>#</sup>, D<sup>#</sup>; sample of same mine, A<sup>#</sup>, B<sup>#</sup>; sample of other mine in near region

C: China, CBCJ: Chungcheongbuk Province Chungju, CBDY: Chungcheongbuk Province Danyang, CBJC: Chungcheongbuk Province Jaechen, CBJW: Chungcheongbuk Province Jaewon, C KL: China Killim, CNHS: Chungcheongnam Province Hongsung, CNKC: Chungcheongnam Province Kwangcheon, CNKJ: Chungcheongnam Province Kongju, CNSS: Chungcheongnam Province Seosan, C PD: China Pingdu, C SD: China Sandong, I: India, JNWD: Cheollanam Province Wando, KBAD: Kyeongsangbuk Province Andong, KBBH: Kyeongsangbuk Province Bonghwa, KNHD: Kyeongsangnam Province Hadong, KBPH: Kyeongsangbuk Province Pohang, KBYI: Kyeongsangbuk Province Youngil, KBYI: Kyeongsangbuk Province Yangyang, KWJS: Kangwon Province Jeongsun, KWYW: Kangwon Province Youngweol, Z: Zimbabwe,

에 석면섬유가 함유되어 있는지에 대하여 조사된 적은 없었다. 최근 우리나라에서도 사문석 광산에서 장기간 분쇄작업에 근무한 근로자가 중피종암에 걸려 사망한 예가 있었다(최정근, 1998).

우리나라에서 생산되는 광물 중에 석면섬유가 함유되어 있을 가능성이 높은 광물은 직섬석계와 각섬석계, 투각섬석계이다. 이들 광물은 생성 과정이나 화학적, 물리적 구조로 보아 석면생성과 비슷한 형태를 띄고 있어 석면이 포함되어 있을 가능성이 크다. 이러한 광물은 종이나 요업제품 등에 사용하는 활석(talc)과 비료와 제철공업에 사용하는 사문석(serpentine)과 백운석(doromite), 석면의 대용품으로 사용되는 석유피(sepiolite)와 규회석(wallastonite), 타일과 요업제품에 사용하는 토면(tremolite), 정화제로 사용하는 불석(zeolite)과 산성백토, 바닥이나 천정재로 사용하는 질석(vermiculite), 도자기나 세라믹 제품 등에 사용하는 납석

(pyrophyllite), 대리석, 석회석, 고령토나 석고 등으로 현재 산업 장에서 흔히 사용되고 있는 광물들이다.

광물에 석면이 함유되어 있는 경우 석면섬유에 노출될 가능성이 높은 군은 채광근로자와 분쇄와 포장 등 가공근로자, 최종 제품 사용자들이다. 그러나 우리나라에서 석면이 함유된 광물의 종류와 석면에 노출되어 석면 관련질환의 발생 가능성에 대하여는 거의 알려져 있지 않다. 본 연구는 우리나라에서 사용되는 모든 광물 중에서 산업장에서 많이 이용되며, 일상생활에서 널리 사용되며, 석면섬유를 함유할 가능성이 있는 광물에 대하여 석면의 함유 여부와 석면섬유의 종류를 파악하고자 하였다.

## II. 연구대상 및 방법

우리나라에서 많이 생산하거나 널리 사용되고 있

**Table 2.** Structural characteristics and chemical composition of contaminated asbestiform fibers determined by TEM-EDX

Minerals	Fibers	Structure	Composition, %					
			Na	Mg	Al	Si	Ca	Fe
Chrysotile								
CNKC A#	chrysotile	hollow		48.27		47.56		4.18
Serpentine								
KBAD A#	chrysotile	hollow		57.77		37.72		4.50
KBAD B#	chrysotile	hollow		43.71		44.88		11.41
KWYW	chrysotile	hollow		48.02		47.07		4.90
KBYY	chrysotile	hollow		42.57		43.42		14.00
CNSS	chrysotile	hollow		49.75		45.71		4.54
CNHS	chrysotile	hollow		46.32		49.48		4.10
Tremolite								
CNHS A#	tremolite	rod		26.55		54.05	17.16	2.24
CNHS B#	actinolite	rod		19.96		57.14	9.13	13.72
Wallastonite								
KWYW	wallastonite	rod				52.00	48.00	
I	wallastonite	rod				40.52	57.44	2.02
Sepiolite								
C	sepiolite	rod		28.63		68.70		2.68
Talc								
CBCJ	chrysotile	hollow		50.83		45.63		3.54
CNKJ B#	chrysotile	hollow		49.45		40.37	10.19	
C KL B#	crocidolite	rod	7.13	3.82		45.54		
C SD A#	tremolite	rod		30.28		51.32		15.40
	actinolite	rod		22.19		51.65		16.04
C SD B#	actinolite	rod		28.42		58.06		9.97
	antigorite	rod		50.42				
Pyrophyllite								
JNWD C#	chrysotile	hollow		48.52		46.47		5.01
Zeolite								
KNYI A#	mordenite	rod		14.65	80.15		4.04	(K:1.16)

A#, B#, C#, D#: sample of same mine, A##, B##: sample of other mine in near region

C: China, CBCJ: Chungcheongbuk Province Chungju, C KL: China Killim, CNHS: Chungcheongnam Province Hongsung, CNKC: Chungcheongnam Province Kwangcheon, CNKJ: Chungcheongnam Province Kongju, CNSS: Chungcheongnam Province Seosan, C SD: China Sandong, I: India, JNWD: Cheollanam Province Wando, KBAD: Kyeongsangbuk Province Andong, KBYI: Kyeongsangbuk Province Youngil, KBYY: Kyeongsangbuk Province Yangyang, KWYW: Kangwon Province Youngweol

는 광물 중 석면을 함유할 가능성이 있는 직섬석계와 각섬석계, 투각섬석계 광물과 기타 석면 함유 가능성이 있는 광물을 대상으로 하였다. 또한 석면이 포함될 수 있는 수입광물도 포함하였다. 국내에서 생산되는 광물은 사문석 6종과 백운석 2종, 토면 1종, 활석 4종, 납석 2종, 대리석 1종, 불석 2종, 고령토 1종, 점토 1종, 석회석 1종이었다. 또한 충청

남도 광천에서 생산된 백석면은 사문석에 포함되어 있으며, 백석면의 여부가 확인되어 있지 않아 확인하기 위하여 조사하였다. 수입광물들은 이미 국내에서 생산되었으나 원가상승으로 수입으로 대체된 규회석 1종, 석유피 1종, 활석 3종, 질석 2종, 석고 1종이 포함되었다. 총 15종 44개의 광물시료를 대상으로 하였다.



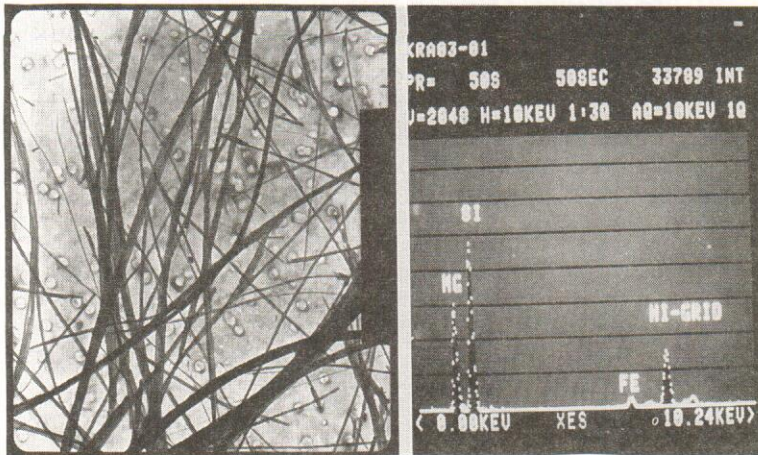


Fig. 1. Kwangcheon serpentine mineral contaminated chrysotile by TEM-EDX.

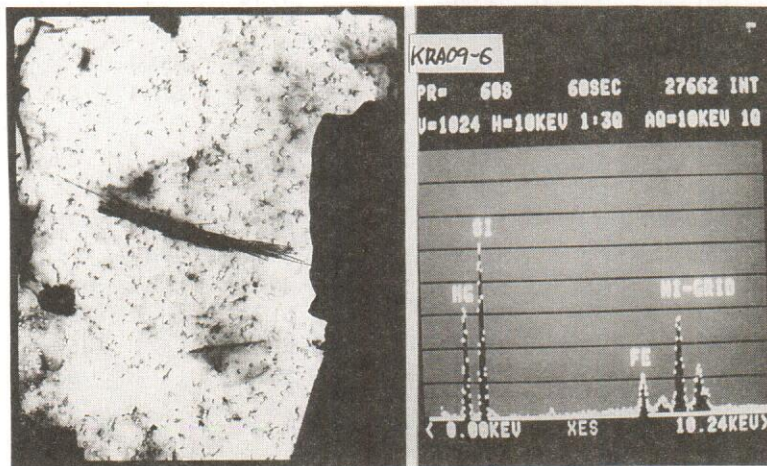


Fig. 2. Yangyang serpentine mineral contaminated chrysotile by TEM - EDX.

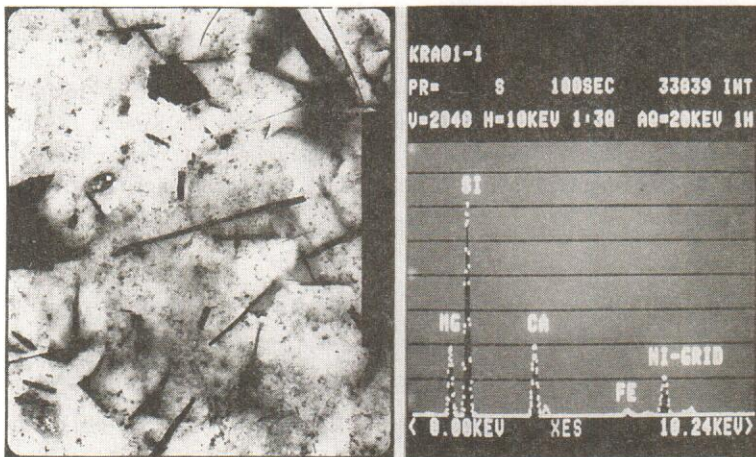


Fig. 3. Hongsung tremolite mineral contaminated tremolite by TEM-EDX.

광물시료의 수집은 국내에서 많이 생산되는 광산과 지역적 분포를 고려하였다. 정확성을 기하기 위하여 우리나라의 광물시료는 직접 방문하거나 우편을 통하여 구하고, 외국의 광물시료는 항구에서 직접 채취하였거나 수입상을 통하여 얻었다. 동일 명칭의 광산이나 다른 지역에서 생산되는 경우 시료를 따로 수집하였다. 이에 해당되는 광물은 안동에서 생산되는 사문석과 홍성의 토면, 완도의 납석이였다. 또한 생산지역은 동일하나 광산이 다른 경우는 영월의 백운석과 중국 길림과 산동의 활석, 영월의 불석, 영월과 제천의 석회석이였다.

분석방법으로는 고해상 전자현미경(High resolution transmission electron microscope, TEM)을 이용하여 석면 섬유 물리적 형태와 정성적 분석을 시행하였다. 정확성을 기하기 위하여 일본의 나고야 대학에 의뢰하여 분석하였다. 전자현미경은 H-100 형이었으며 분말로 만든 후에 초음파 분산과 0.2 $\mu$ m 여과 막을 통과시켰다. 여과막은 얇은 탄소막 처리를 하고, 일부를 탄소피막-니켈 그리드(carbon-coated nickel grids, 200 mesh, VECO)로 만든 후 chloroform 증기로 용해하여 관찰하였다. 섬유는 길이와 직경의 비가 3:1 이상되는 경우 섬유로 판단하여 계산하였다. 광물 중 섬유가 함유되어 있는 시야를 10개부터 30개까지 관찰하였다. 화학적 구성성분은 energy dispersive x-ray spectroscopy (EDX, KEVEX 7000Q)를 이



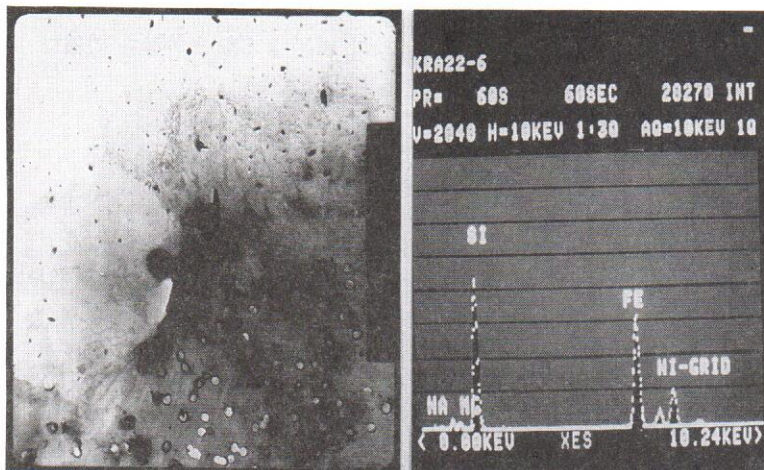


Fig. 4. KilLim(China) talc mineral contaminated crocidolite by TEM - EDX.

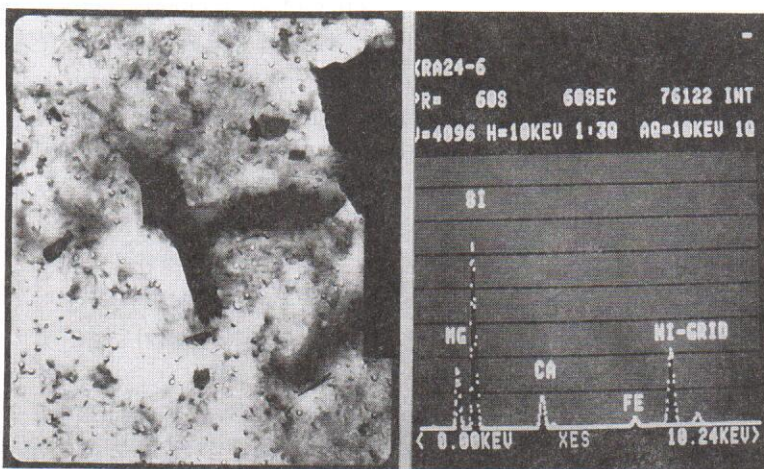


Fig. 5. Sandong B(China) talc mineral contaminated actinolite by TEM - EDX.

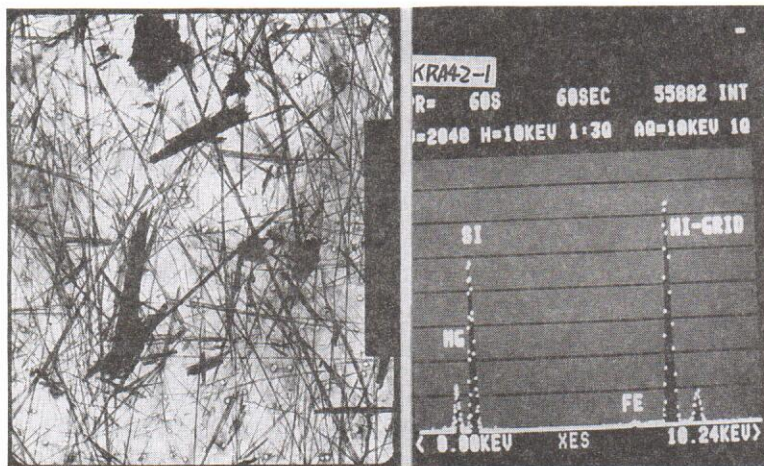


Fig. 6. China sepiolite mineral contaminated sepiolite by TEM - EDX.

용하였으며, 분석중에 포함된 섬유는 mordenite인지 erionite인지 구분하기가 어려워 x-ray 회절분석(XRD)을 시행하였다. 석면의 종류는 일본석면협회에서 정한 표준참고치에 따라 고해상 전자현미경의 섬유모양과 에너지분산방사선분석의 화학적구성 특성을 비교하여 결정하였다. 길이와 직경의 측정은 고해상 전자현미경의 확대 배율을 2000-20,000과 10,000-50,000 배를 이용하였다.

### III. 연구 결과

우리나라에서 사용되는 15종류의 광물 중에는 백석면, 청석면, 토면, wallastonite, sepiolite, actinolite, antigorite, mordenite, clinoptilolite로 9종류의 석면섬유가 함유되어 있었으나 갈석면과 anthophyllite는 없었다.

백석면이 함유된 광물은 충남 광천의 백석면 광산의 사문석과 경북 안동, 강원 영월, 경북 양양, 충남 서산, 충남 홍성의 사문석이었으며, 모든 사문석에는 백석면을 함유하고 있었다. 또한 충북 충주, 충남 공주, 중국의 길림과 산동의 활석에도 포함되어 있었으며, 전남 완도의 납석에도 함유되어 있었다. 청석면은 중국의 길림에서 생산되는 활석에 유일하게 함유되어 있었으며, 토면은 충남 홍성에서 생산되는 토면과 중국 산동의 활석에 함유되어 있었다. wallastonite는 강원 영월과 인도의 규회석에 함유되어 있으며, sepiolite는 중국의 석유피



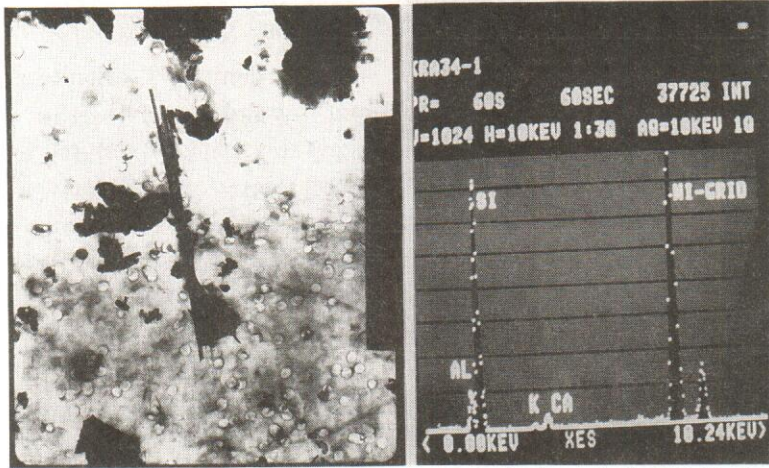


Fig. 7. Youngil zeolite mineral contaminated mordenite and clinoptilolite by TEM-EDX.

에 함유되어 있었다. Antigorite는 중국 산동의 활석에 포함되어 있었으며, mordenite와 clinoptilolite는 경북 영일의 불석에 포함되어 있었다(Table 1, Table 2).

광물별로 보면 백석면은 4개 광물인 사문석, 토면, 활석, 납석에 함유되어 있었으며, 청석면은 15개 광물 중 1개인 중국 길림의 활석에 포함되어 있었다. 토면은 15개 광물 중 2개에 포함되어 있으며, actinolite도 2개의 광물에 함유되어 있었다. 그러나 백운석과 질석, 석회석, 대리석, 석고, 고령토와 점토에는 석면섬유가 포함되어 있지 않았다.

Energy dispersive x-ray spectroscopy(EDX)에 의한 석면섬유의 화학적 성분은 백석면의 경우 주로 마그네슘과 규소, 철 성분이 주된 구성 요소였으며, 토면은 칼슘이 첨가되어 있었다. 규회석은 규소와 칼슘 성분으로 구성되어 있다(Table 2, Fig. 1-7).

경북 영일지역에서 생산되는 불석에 포함된 섬유는 전자현미경에서 erionite로 판단되었으나 energy dispersive x-ray spectroscopy(EDX)에서 화학적 구성성분이 erionite의 표준참고치와 달라 x-ray 회절분석(XRD)을 시행하였다. 그 결과 erionite가 아닌 mordenite와 clinoptilolite로 판단되었다(Table 3, Fig. 8).

석면섬유의 길이는 대부분  $2\mu\text{m}$  보다 길었으며, 안동과 영월의 사문석, 충주와 공주, 길림의 활석은 평균적으로  $5\mu\text{m}$  이하이었으나 다른 광물은 모두  $5\mu\text{m}$  이상이였다. 그러나 모든 석면섬유에서 길이와 직경

의 비는 3:1을 초과하고 있었다(Table 3).

#### IV. 고 찰

백석면은 우리나라에서 유일하게 생산된 석면인 것으로 알려져 있었다. 토면이 소량 생산되고 있었으나 석면과 달라 건강에 유해하지 않다고 주장하기도 하였다. 그러나 본 조사를 통하여 우리 나라에서 생산되거나 수입하여 사용되는 광물에는 chrysotile, tremolite, croci-

dolite, actinolite가 함유되어 있으며 석면의 한 부류인 sepiolite, wallastonite, mordenite, clinoptilolite, antigorite, erionite 등이 함유되어 있음을 확인하였다. 이러한 물질은 일상생활에 많이 활용되거나 사업장에서 흔히 사용되는 광물로서 이로 인한 석면의 노출 가능성이 있음을 제시하였다. 석면의 노출이 모두 석면관련 질환의 발생을 의미하는 것은 아니지만 우리 나라에서도 이러한 석면섬유에 의하여 석면관련 질환의 발생 가능성은 있다고 판단되었다.

석면이라 함은 천연광물로 비금속성이고 섬유형태를 띤 규산염 광물의 통칭이다. 따라서 석면에는 백석면(chrysotile)과 청석면(crocidolite), 갈석면(amosite), 토면(tremolite), 양기석(actinolite), anthophyllite는 물론이고 규회석(wallastonite), 석유피(sepiolite), mordenite, erionite, clinoptilolite 등도 석면의 한 부류에 포함된다. 석면은 구성학적으로 각섬석계(amphibole)와 사문석계(serpentine)로 크게 구분되나  $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ 를 기본적 구조를 가지므로 마그네슘과 규소, 철을 함유한다. 또한 이들은 성분 구조가 조금 다르더라도 물리적 화학적 구조가 비슷하여 유용하게 사용될 수 있는 섬유구조를 가지기 때문에 통칭하여 석면이라 불리고 있다(Langer와 Nolan, 1994). 노동부의 산업안전보건법에는 석면이란 사문석계의 백석면과 각섬석계의 청석면과 갈석면, 토면, anthophyllite, actinolite가 속한다고 명시되어 있으며 사용허가제조 품목이다. 따라서 갈석면과 anthophyllite만이 우리 나라에서 생산된 광물이나

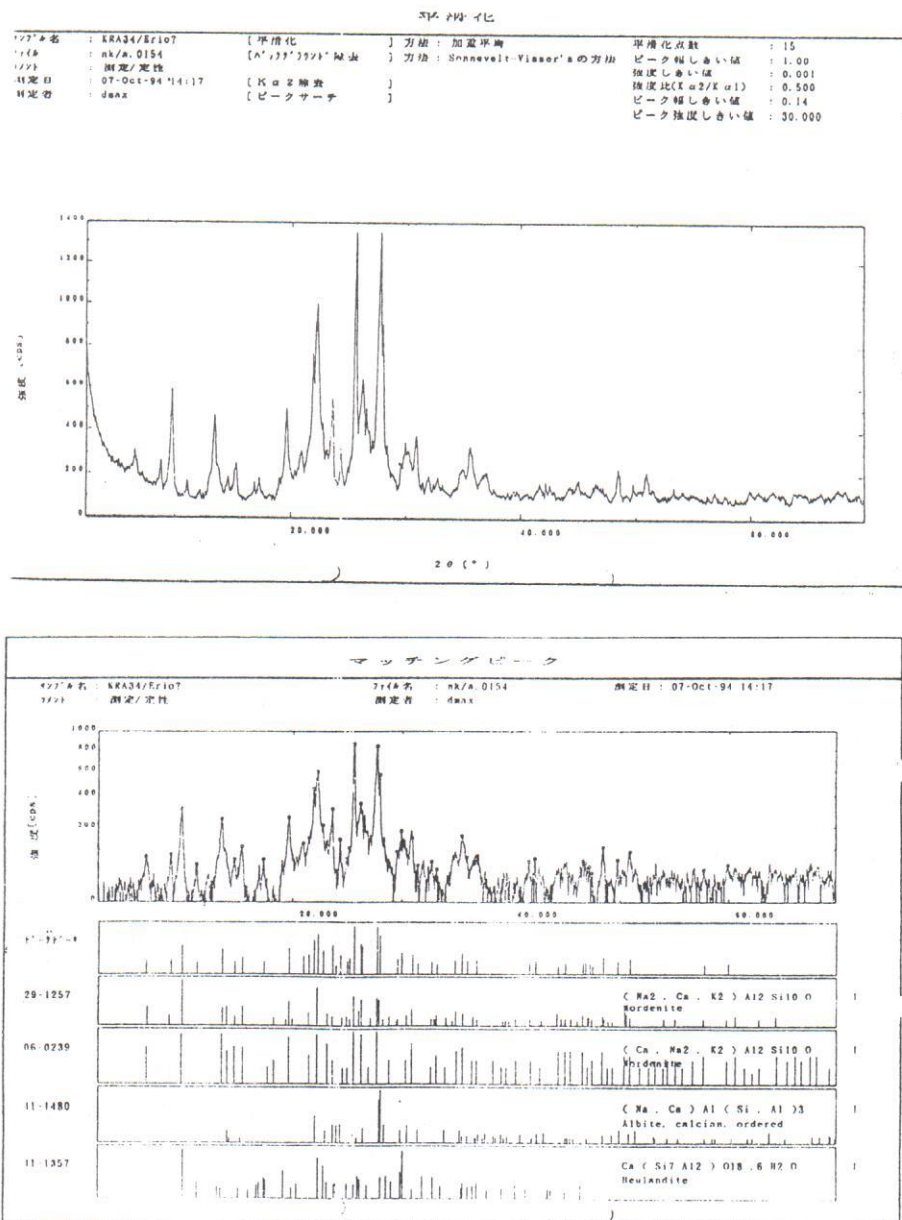


Fig. 8. Youngil zeolite mineral contaminated mordenite and clinoptilolite by XRD.

수입된 광물에 함유되어 있지 않고 있다. 청석면과 갈 석면은 수입금지품목이나 광물에 포함된 청석면은 노출수준을 떠나서 수입되고 있는 셈이다.

산업용과 일반 필수품에 많이 사용되는 사문석과 활석에 백석면이 함유되어 있다는 것은 잘 알려져 있지 않았다. 사문석은 석면이 함유되어 있으며 사문석을 채취하거나 분쇄하는 근로자에게 석면관련

질환의 발생가능성이 있음을 제시하였으며, 최근 사문석광산에 19년간 작업한 근로자에서 중피종암이 발생한 것과 무관하다고 볼 수 없을 것으로 판단되었다. 또한 비료의 일종인 용성인비를 생산하는 근로자와 사용하는 농부, 제철업에서 용광로 작업 중에 사문석 분쇄물을 취급하는 근로자에서도 석면노출이 가능하고 석면 관련 질환의 발생이 가능하다고



**Table 3.** Ratio of the length and diameter of asbestiform fibers

Minerals	Fiber	L <sup>1</sup>	D <sup>2</sup>	L/D ratio <sup>3</sup>
Chrysotile				
CNKC	chrysotile	long	0.27	-
Serpentine				
KBAD A#	chrysotile	27.0	0.04	675.0
KBAD B#	chrysotile	2.3	0.02	115.0
KWYW	chrysotile	1.3	0.25	5.2
KBYI	chrysotile	7.0	0.50	14.0
CNSS	chrysotile	9.0	0.25	36.0
CNHS	chrysotile	11.0	0.45	24.4
Tremolite				
CNHS	tremolite	-	0.80	-
	actinolite	-	0.07	-
Wallastonite				
KWYW	wallastonite	7.5	0.60	12.5
I	wallastonite	-	4.50	-
Sepiolite				
C	sepiolite	8.0	2.50	3.2
Talc				
CBCJ	chrysotile	1.8	0.13	13.8
CNKJ B#	chrysotile	2.7	0.03	90.0
C KL B#	crocidolite	2.8	0.55	5.1
C SD A#	tremolite	6.0	0.25	24.7
	actinolite	3.0	0.45	6.7
C SD B#	actinolite	6.0	0.90	6.7
	antigorite	5.0	0.50	10.0
Pyrophyllite				
JNWD	chrysotile	7.5	0.05	150.0
Zeolite				
KNYI	mordenite	10.0	0.20	50.0

L<sup>1</sup>: length of asbestiform fiber( m)

D<sup>2</sup>: diameter of asbestiform fiber( m)

L/D ratio<sup>3</sup>: length of asbestiform fiber/diameter of asbestiform fiber

A#, B#, C#, D#: sample of same mine, A#, B#: sample of other mine in near region

C: China, CBCJ: Chungcheongbuk Province Chungju, C KL: China Killim, CNHS: Chungcheongnam Province Hongsung, CNKC: Chungcheongnam Province Kwangcheon, CNKJ: Chungcheongnam Province Kongju, CNSS: Chungcheongnam Province Seosan, C SD: China Sandong, I: India, JNWD: Cheollanam Province Wando, KBAD: Kyeongsangbuk Province Andong, KBYI: Kyeongsangnam Province Youngil, KBYI: Kyeongsangbuk Province Yangyang, KWYW: Kangwon Province Youngweol

판단된다. 활석은 우리 생활에서 매우 많이 쓰이는 광물이다. 활석에 의한 건강장애는 talcosis와 talcoasbestos, talcosilicosis, venous talc 등이 이미 보고되었다(Center for Disease Control, 1980). 활석은 고급 종이의 대부분에 4-30%까지 포함되고 있으며 요업제품과 페인트의 충전제, 화장품 등에 사용되기 때문에 석면이 함유된 경우 노출 대상자수는 사업장뿐만이 아니라 일반 주민까지 폭 넓게 노출될 수 있다. 특히 충북 충주의 활석 광상과 충남 공주의 광상은 생산량도 많고 과거 오래 전부터 생산되었기 때문에 석면관련 질환자가 발생하였을 것으로 추측되나 밝혀진 것은 없다.

이러한 석면섬유들은 Lippman(1991)이 제시한 석면폐증을 발생시키는 길이 2 $\mu$ m 이상과 직경이 0.15  $\mu$ m 이상의 조건을 대부분 만족시키고 있으며, 폐암을 일으킨다고 알려진 길이 10 $\mu$ m 이상과 직경이 0.15-3  $\mu$ m의 조건에는 광천의 백석면과 서산과 홍성의 사문석이였다. 중피종암의 발생과 관련이 있는 길이 5 $\mu$ m 이상과 직경이 0.1 $\mu$ m 이하의 조건은 안동 사문석과 충주, 공주의 활석, 완도의 납석이 해당되었다.

본 연구에서 가장 흥미로운 사실은 경북 영일에서 생산되는 불석에서 erionite가 아닌 mordenite와 약간의 clinoptilolite가 있다는 것이다. erionite는 터키지방에서 토양 중에 함유되어 있어 그 지방에서 중피종암의 발생이 많은 것으로 밝혀져 있다(Artvinii 등 1979). mordenite와 clinoptilolite의 건강장애에 대하여는 아직 연구가 되어 있지 않으므로 학문적 연구의 가치를 갖고 있을 것으로 보였다. 또한 산성백토와 고령토는 불석과 구성성상이 비슷하여 불석에 석면섬유가 포함되어 있으므로 이들 광물에 대하여 좀더 자세한 조사도 필요하였다. 불석은 경북의 영일, 감포, 경주 지역에 집중되어 있으므로 광산과 이 지역 주민들이 자연환경에 의한 mordenite와 clinoptilolite의 노출이 가능할 것으로 추측되므로 건강장애와의 관련성도 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

## V. 결 론

우리 나라에서 사용되고 있는 광물 중에서 석면이 함유되어 있을 것으로 추정되는 15종 44개 광물시료

를 고해상 전자현미경과 energy dispersive x-ray spectroscopy(EDX), X-ray 회절분석(XRD)를 이용하여 분석한 결과 9종의 석면섬유가 발견되었다. 석면섬유는 백석면, 토면, 청석면, actinolite, sepiolite, wallastonite, mordenite, clinoptilolite, antigorite이었다. 석면섬유가 함유된 광물은 우리 나라에서 생산되는 사문석, 활석, 토면, 석유피, 질석, 비석이었으며, 외국에서 수입하는 광물은 활석과 석유피, 규회석 등이었다. 그러나 대리석이나 석회석, 고령토, 점토, 석고에는 함유되어 있지 않았다. 이러한 섬유는 건강장해를 일으킬 수 있는 화학적, 구조적 형태이었으며, 석면섬유가 함유된 광물을 채굴하거나 분쇄, 하역작업을 하는 근로자의 건강보호가 필요할 것으로 판단되었다.

## REFERENCES

- 최정근 : 직업병진단사례로 본 우리나라 직업병 및 작업관련성 질환의 특성 및 최신 경향 - 직업성 호흡기계 질환 및 호흡기계암 한국산업안전공단 세미나 자료, 1998:31-44.
- Artvinli M, Baris YI : Malignant mesotheliomas in a small village in the Anatolian region of Turkey: An epidemiologic study. JNCI 1979; 63:17-22.
- Becklake MR: Asbestos-related diseases of the lung and other organs: Their epidemiology and implications for clinical practice. Am Rev Respir Dis 1976;114:187-227.
- Berry G, Gilson JC, Holmes S, Lewinsohn HC, Roach SA. Asbestosis: A Study of dose-response relationships in an asbestos textile factory. Br J Ind Med 1979;36:98-112.
- Browne K : The controlled use approach for asbestos - A scientific update on health effect. International conference on asbestos products. Kuala Lumpur, Malaysia, Nov, 1991.
- Center for Disease Control, NIOSH, OSHA : Occupational Exposure to Talc Containing Asbestos-Mortality, Morbidity, and Environmental Studies of Miners and Millers. DHEW(NIOSH) publication No. 80-115, 1980
- Doll R : Mortality from lung cancer in asbestos workers. Br J Ind Med 1955;12:81-86.
- Finkelstein, MM : Asbestosis in long-term employees of an Ontario asbestos-cement factory. Am Rev Respir Dis 1982;125:496-501.
- Langer AM, Mackler AD, Pooley FD : Electron microscopical investigation of asbestos fibers. Environ Hlth Perspect 1974;9:63-80.
- Langer AM, Nolan RP. Chrysotile : Its occurrence and properties as variables controlling biological effects Ann Occup Hyg 1994;38(4):427-451.
- Lippman M. Industrial and environment hygiene: Professional growth in a changing environment. Am Ind Hyg Assoc J. 1991;52(9):341-348.
- McDonald JC, McDonald AD : Epidemiology of mesothelioma from estimated incidence. Prev Med 1977;6(3):428-429.
- McDonald RE, Sago AL, Novicki DE, Bagnall JW : Paratesticular mesotheliomas. The J of Urology 1983; 130:360-361.
- Selikoff IJ, Seidman H : Cancer of the pancreas among asbestos insulation workers. Cancer 1981;47: 1469-1473.
- Wagner JC, Sleggs CA, Marchand P : Diffuse pleural mesothelioma and asbestos exposure in the North Western Cape province. Br J Ind Med 1960;17:260-271