

충북 폐석면광산지역의 석면 실태조사

신진호¹ · 이승철^{2†} · 정숙녀¹ · 오석률¹ · 김남진¹ · 황순용¹ · 김지희¹ · 남은정¹ · 엄석원¹ · 채영주¹

¹서울특별시 보건환경연구원, ²가톨릭대학교 의과대학 예방의학교실

Asbestos Investigation of an Inactive Mine in Chungbuk

Jin-Ho Shin¹, Soung-Cheoul Lee^{2†}, Sook-Nye Chung¹, Seok-Ryul Oh¹, Nam-Jin Kim¹,
Soon-Yong Hwang¹, Ji-Hui Kim¹, Eun-Jung Nam¹, Seok-Won Eom¹, and Young-zoo Chae¹

¹Seoul Metropolitan Research Institute of Public Health and Environment

²The Catholic University of Korea

Received April 29, 2011/Accepted June 30, 2011

To investigate the quality of surface water and groundwater, and the airborne asbestos concentrations in ambient air near the Dong-a inactive mine, 21 water samples and 20 airborne samples were collected and analyzed. As a result, Anthophyllite fibers were detected in monitoring well at the quarry and no asbestos fibers were detected in other groundwater samples. On the other hand, 8 samples among 13 groundwater samples exceeded the standard for drinking water, especially for F⁻ and NO₃-N. Analyzed by PCM, the concentrations of airborne fibers in ambient air without site activity ranged between 0.0025 f/cc and 0.0029 f/cc at 8 samples of 20 airborne samples, below the guideline for indoor air quality (0.01 f/cc). However, additional airborne sample results by PCM indicated higher concentrations (0.0025~0.6130 f/cc) of fibers in the air based on four site activity scenarios (i.e. plowing, sweeping, weeding and grass cutting). Even though asbestos fibers were not detected in the ambient air samples by transmission electron microscopy, airborne asbestos fibers can be exposed to ambient air by agricultural activities. Therefore, in order to identify potential impact on surrounding receptors owing to airborne asbestos caused by site activities, site-specific studies such as risk assesment based on activity-based sampling are required.

Key words: Asbestos, Inactive mine, Naturally Occurring Asbestos (NOA), Phase Contrast Microscope (PCM), Transmission Electron Microscopy (TEM)

1. 서 론

석면의 어원은 그리스어에서 유래되었으며, Asbestos란 A(=not), sbestos(=quenchable, 멸하다)로 불에 타지도 않고 썩지도 않으며, 영구히 변하지 않는 불멸의 물질이란 뜻이다. 또한 석면은 인공적이 아닌 천연의 광물섬유로서 화산에서 분출된 용암이 특수한 조건 하에서 뜨거운 물과 작용하면 석면의 결정이 섬유상으로 성장하는 것이다.¹⁾

석면의 종류는 가장 널리 사용되는 백석면(Chrysotile) 등의 사문석군과 청석면(Crocidolite)과 갈석면

(Amosite), 양기석석면(Actinolite), 투각섬석면(Tremolite), 직섬석석면(Anthophyllite)등의 각섬석군으로 구분된다.²⁾

석면은 천연 광물이면서도 불연성, 내마모성, 내산성, 내알카리성, 절연성이 뛰어난 뿐만 아니라 값이 싸기 때문에 슬레이트, 천정재, 벽면재, 보온단열재 등 건축용 자재의 원료와 브레이크라이닝, 클러치페이싱 등 자동차 부품에도 널리 쓰였으며, 직경이 0.02~0.03 μm 정도로 가늘고 유연성이 좋고 가볍고 강하여 석면방직 제품은 실이나 테이프 또는 직포의 형태로 기관이나 배관의 보온단열재로도 사용되었다.

[†]To whom correspondence should be addressed.

Tel: 82-2-2258-7371, E-mail: 4you@catholic.ac.kr

그러나 인체가 호흡기를 통하여 석면섬유에 장기간 노출되면 15~40년의 잠복기를 거쳐 석면폐증, 폐암, 악성중피종 등을 유발하고, 섭취 시에는 장관계의 압과 인후두암, 신장암, 췌장암, 임파선암 등을 유발하는 것³⁾으로 알려져 있으며, 미국 EPA의 먹는물 수질기준은 독성물질관리프로그램(NTP, National Toxicology Pro-

gram)의 동물실험에 의한 독성 데이터에 의하여 투과 전자현미경으로 관찰한 길이 10 μm 이상의 석면섬유로서 음용수 중에 700만개/L(7 MFL, Million Fibers per Liter)로 규정⁴⁾하고 있으나, 우리나라에서는 아직 이에 대한 규제기준이 없고 폐석면 광산지역의 정확한 석면오염 실태조사도 매우 미흡한 실정으로 본 연구에

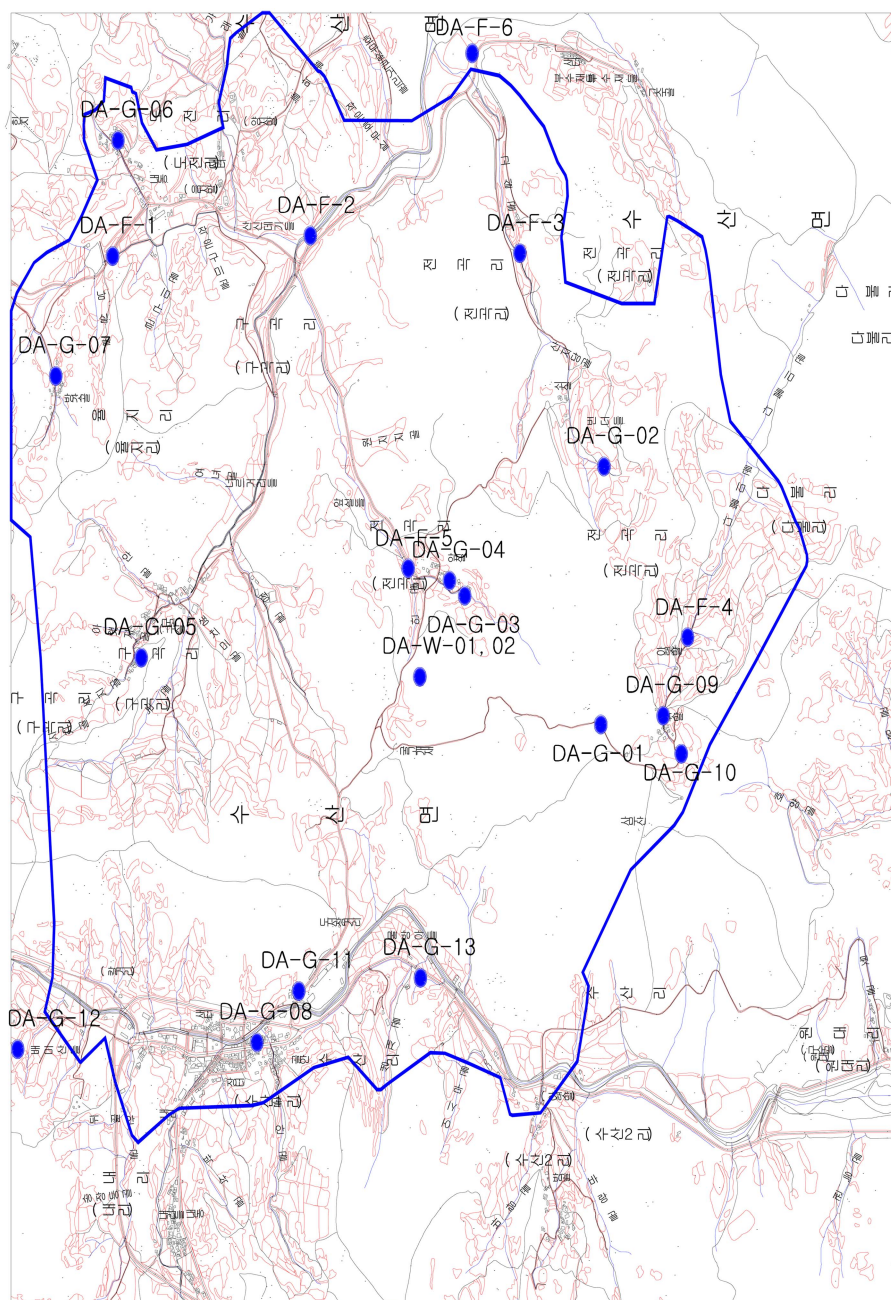


Fig. 1. Location map of water samples in the Dong-a inactive mine.

서는 충북 제천시의 동아광산을 중심으로 주변 하천 및 지하수에 대한 수질특성과 일반대기 중 석면을 정밀조사하여 지역주민의 건강 위해성을 방지하는데 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 대상 및 방법

2.1. 대상지역 및 시료 채취지점

석면발생의 자연적 기원은 석면을 함유한 모암이 풍화에 의해서 생성되는 경우이고, 인위적 기원은 석면 암석의 채굴이나 가공·운송에 따른 비산과 같은 인위적인 활동에 기인한다. 충북 제천시 수산면 전곡리 일대에서 2006년부터 운영 중인 채석장에서 생산된 조경석 등에 석면이 원석 그대로 전국에 유통됐다는 지적에 따라,⁵⁾ 일제시대부터 1960년대까지 석면을 채굴하던 충북 제천시 수산면 동아광산 주변지역을 본 조사의 대상으로 하였다.

수질시료 채취지점의 선정은 그림 1에서 보는 바와 같이, 동아광산 주변의 지표수 및 조사반경 내 거주지역의 음용수 지하수를 대상으로 주변 4 km 반경에서 선정하였으며, 지표수 시료채취는 광산주변 계곡수에서

2개 지점, 하천수에서 1개 지점, 논 유입수 및 유출수에서 각각 1개 지점, 충주호에서 1개 지점을 선정하여 채취하였다. 지하수는 광산주변 주택에서 사용 중인 8개 지점, 현재 건수 및 우물에서 사용 중인 지하수에서 5개 지점을 선정하여 채수하였으며, 동아광산 채석장 내에 시추한 관측정에서 깊이를 달리하여(20 m, 30 m) 2개의 시료를 채수하였고, 그 TM 좌표는 표 1에 나타내었다.

일반 대기시료 채취지점은 최근까지 운영했던 채석장에서 비산될 우려가 있는 석면의 실태를 조사하기 위하여 채석장 부근과 인근마을을 대상으로 주풍향을 고려하여 오염이 의심되는 20개 지점을 선정하였다.

2.2. 분석방법

2.2.1. 하천 및 지하수의 시료채취 및 분석방법

시료채취는 ‘수질오염공정시험기준’(2008. 7., 환경부 고시 제 2008-99호)에 준하여 멸균 채수병을 이용하여 각각 4L, 2L를 채수하여 4L는 하천수 수질기준과 ‘먹는물수질오염공정시험기준’(2010. 7., 환경부 고시 제 2010-88호)에 의거하여 분석하였다.

석면분석을 위해 채취한 시료 2L는 잘 혼합하여 15

Table 1. Transverse Mercator (TM) coordinate of surface and ground water sampling locations

순서	시료명	주소 및 용도	경도	위도	TM좌표	
					X	Y
1	F1	하천수	126,44,10.8	36,33,29.2	126648.3075154	384419.1716564
2	F2	하천수	126,43,40.8	36,33,40.8	127537.0945465	384482.4461230
3	F6	충주호	128,11,40.3	36,57,41.5	128266.8062426	385046.6017844
4	F3	하천수	128,11,48.5	36,57,21.5	128464.4677936	384428.3337684
5	F5	하천수	128,11,27.4	36,56,52.1	127934.7434740	383526.4151263
6	F4	하천수	128,12,21.2	36,56,44.6	129263.9973154	383284.0117005
7	W1	관측공	128,11,31.8	36,56,36.5	128039.5440226	383044.5788188
8	W2	관측공	128,11,31.8	36,56,36.5	128039.5440226	383044.5788188
9	G09	제천시 수산면 다불리	128,12,15.2	36,56,35.4	129113.1644632	383001.6359648
10	G10	제천시 수산면 다불리	128,12,17.9	36,56,32	129179.1005052	382896.2638421
11	G01	제천시 수산면 수산리	128,12,04.3	36,56,34.3	128843.1629811	382969.9809531
12	G03	제천시 수산면 전곡리	128,11,36.9	36,56,46.9	128168.4471164	383364.1184459
13	G04	제천시 수산면 전곡리	128,11,35.3	36,56,48.8	128129.3572853	383423.0263253
14	G11	제천시 수산면 수산리	128,11,09.7	36,56,07.2	127484.9784898	382145.9796985
15	G08	제천시 수산면 수산리	128,11,01.9	36,56,01.4	127290.4176853	381968.8295795
16	G02	제천시 수산면 전곡리	128,12,04.6	36,57,00.2	128857.2829288	383768.3563022
17	G07	제천시 수산면 울지리	128,10,24.9	36,57,08.6	126392.7137432	384048.3403632
18	G06	제천시 수산면 도전리	128,10,36.5	36,57,32.7	126686.1409157	384788.8054963
19	G05	제천시 수산면 구곡리	128,10,40	36,56,40.5	126758.8437828	383178.8488362
20	G13	제천시 수산면 수산리	128,11,31.6	36,56,08.8	128027.3545960	382190.6949012
21	G12	제천시 수산면 내리	128,10,17.5	36,56,01.0	126191.5190272	381965.9752074

분 동안 초음파 처리한 뒤, 여과장치에 직경 25 mm, pore size 5 μm 인 MCE (Mixed cellulose ester) 필터를 놓고 그 위에 pore size 0.22 μm 인 MCE 필터를 장착하여 여과하였다. 여과할 시료의 부피는 시료 중 총 부유고형물의 양과 석면의 농도 등을 고려하여 결정하고, 다양한 양의 시료를 분취하여 여과한 뒤, 전처리하여 투과전자현미경으로 분석하기 적절한 것을 선택하였다.

여과된 필터는 건조시킨 뒤, 투명화 용액(35% dimethyl formamide, 15% glacial acetic acid와 50% 증류수)을 이용하여 투명화 시킨다. 저온 플라즈마 회화로(K1050X Plasma Etcher, EMITECH)를 이용하여 필터표면의 약 10%를 에칭(etching) 처리하고 카본 코터(K950X Turbo Evaporator, EMITECH)로 얇은 탄소막으로 코팅한 뒤, 아세톤 용액이 든 Jaffe washer를 이용하여 필터를 녹인다. 자세한 방법은 EPA method 100.2에 따른다.

전처리를 포함한 일련의 석면분석은 에너지 분산형 X선 분광기(energy dispersive X-ray spectrometer, EDS)가 장착된 투과전자현미경(Tecnai G2, FEI company 120 keV)을 이용하여 면적이 0.01098 mm^2 인 Grid opening을 약 18,500배의 배율에서 EPA method 100.2법에 따라 분석하였다.

길이가 10 μm 이상이고 길이 대 지름의 비(aspect ratio)가 3:1 이상인 섬유와 이를 만족시키는 섬유를 함유한 섬유다발과 매트릭스를 하나의 섬유로 계수하고, 섬유상 집합체 중에 함유된 섬유 중 섬유계수 기준을 만족시키는 섬유는 개별섬유로 계수하였다.

분석감도는 분취한 시료량에 따라 0.04~5.2 MFL이고, 석면섬유의 농도(MFL, Million Fibers per Liter)는 계수된 섬유수에 관찰한 필터의 면적과 분취된 시료의 부피를 나누고 필터의 유효면적을 곱하여 계산하였다.⁴⁾

2.2.2. 일반대기 중 석면분석방법

일반대기의 시료채취 및 분석은 The National Institute of Occupational Safety and Health(NIOSH) Method 7400(NIOSH, 1994)을 따랐다. 위상차현미경 분석용 시료는 직경 25 mm, pore size 0.8 μm MCE (mixed cellulose ester) 필터가 장착된 cassette(225-321, SKC)에 시료채취펌프(LV-40BR, SIBATA; SARA-4000, KEMIK)를 사용하여 약 10 L/min의 유량으로 2시간 동안 1,200 L를 포집하였다. 투과전자현미경 분

석용 시료는 직경 25 mm, pore size 0.45 μm MCE와 5 μm MCE 백업 필터가 장착된 cassette(Z045BA, Zefon)에 약 8 L/min의 유량으로 2시간 30분 동안 1,200 L를 포집하였다.

시료를 포집한 필터는 투명화 용액(35% dimethyl formamide, 15% glacial acetic acid와 50% 증류수)을 이용하여 투명화시킨다. 저온 플라즈마 회화로(K1050X Plasma Etcher, EMITECH)를 이용하여 필터표면의 약 10%를 에칭(etching) 처리하고 카본 코터(K950X Turbo Evaporator, EMITECH)로 얇은 탄소막으로 코팅한 뒤, acetone용액이 든 Jaffe washer를 이용하여 필터를 녹인다. 자세한 방법은 ISO 10312(1995)에 따른다.

전처리한 시료는 에너지 분산형 X선 분광기(energy dispersive X-ray spectrometer, EDS)가 장착된 투과전자현미경(Tecnai G2, FEI company 120 keV)을 이용하여 ISO 10312법에 따라 분석하였다. 면적이 0.01098 mm^2 인 Grid opening 44개를 약 5,800배에서 관찰하고, 섬유의 계수가능성 판단하기 위해서 18,500배에서 확인하였다. 길이 5 μm 이상, 직경 0.2~3.0 μm 이며, 길이 대 지름의 비(aspect ratio)가 3:1 이상인 석면 섬유를 계수하였다.

분석감도는 0.0007 f/cc이고, 석면섬유의 농도(f/cc)는 계수된 섬유수에 관찰한 필터의 면적과 포집된 공기의 부피를 나누고 필터의 유효면적을 곱하여 계산하였다.⁶⁾

3. 결과 및 고찰

3.1. 수질분석 및 석면 함유량 조사

지표수 전 지점에서 납, 크롬, 카드뮴을 비롯한 중금속은 검출되지 않았으며, 특별한 오염지표는 없었다. 다만, 주변의 농경지 등에 의한 영향으로 하천수의 총질소 농도가 1.9~6.3 ppm으로 조사되었고, 총질소는 대부분 질소의 순환과정 중의 질산성질소로 존재하여 오염의 진행도가 상당히 진척되고 있음을 보여주며, 수질 분석에서 석면섬유는 발견되지 않았다.

Table 2는 지하수에서 검출된 오염물질에 대한 분석 결과로 지하수 역시 중금속이나 트리크로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌 등 휘발성 유기화합물과 같은 유해물질은 검출되지 않았다.

그러나 본 연구대상의 지하수는 주로 경도가 150 mg/L 이상의 센물이고, 특히 질산성질소와 불소의 오염도가 높았다. 일반적으로 지하부에서 불소의 함유정

Table 2. Analytical results of groundwater samples

시험 항목	규격 기준	7 지점	8 지점	9 지점	10 지점	11 지점	12 지점	13 지점	14 지점	15 지점	16 지점	17 지점	18 지점	19 지점	20 지점	21 지점
불소 (mg/L)	1.5 이하	불검출	0.24	불검출	0.19	불검출	불검출	0.17	불검출	0.17	불검출	0.17	0.22	불검출	2.3	1.42
NO ₃ -N (mg/L)	10 이하	2.3	1.6	6.6	11.6	2.7	3.9	2	4.9	10.5	6.1	3.5	12.7	2.1	3.2	1
경도 (mg/L)	300 이하	381	424	327	292	350	337	310	221	259	148	250	328	292	236	49
KMnO ₄ (mg/L)	10 이하	8.2	66.6	1.6	1.6	1.2	1.3	1.4	2	1.7	1.5	2.5	1.7	1.3	1.2	0.9
색도 (도)	5 이하	7	346	불검출	2	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	1	불검출	불검출	불검출	불검출
아연 (mg/L)	3 이하	0.114	0.05	0.023	0.012	0.006	0.007	0.004	0.003	불검출	불검출	불검출	0.003	0.004	0.466	0.025
염소이온 (mg/L)	250 이하	5	6	8	11	3	4	6	9	18	4	5	12	3	5	2
중발잔류물 (mg/L)	500 이하	503	1414	372	359	358	357	328	262	342	201	304	430	296	270	112
탁도 (NTU)	1 이하	5.41	62.5	1.1	5.34	0.69	0.12	0.04	0.02	불검출	0.15	0.16	0.01	불검출	불검출	0.05
황산이온 (mg/L)	200 이하	77	83	19	28	11	22	19	21	32	25	20	42	9	22	12

도를 표시하는 클라크 숫자(지구 표층부에 있어서의 각각 원소 존재도의 중량% 추정값에 대해서 주어지는 명칭)는 0.03%로써, 불소는 형석(CaF₂), 빙정석(Na₃AlF₆) 등의 광물로 화산지대나 화강암질의 토양에 많이 함유되어 있으며,⁸⁾ 본 조사에서도 수산면 수산리와 내리의 지하수에서 불소의 오염도가 높게 나타났다.

불소의 인체에 대한 영향은 주로 골격과 치아에 대한 친화력이 높아 섭취량이 증가하면 골격과 치아 내에 축적되는 양이 증가한다. 이 현상은 특히 골격이 발달하는 성장기에 뚜렷하며, 먹는물을 통한 불소이온의 장기복용에 따른 가능한 위해요인으로는 0.9~1.3 mg/L 사이에서 경미한 치아 불소침착증⁹⁾과 3~6 mg/L인 경우에는 골격조직에 더욱 심각한 골격불소침착증(skeletal fluorosis), 10 mg/L 이상인 경우에는 골격기형 불소침착증(cripling skeletal fluorosis)이 발생할 수 있다.¹⁰⁾ 우리나라는 미국이나 유럽에 비하여 칼슘 섭취가 적은 식생활을 가지고 있어서 본 조사대상 지역주민들의 불소이온에 의한 유해한 만성적인 불소중독이 우려된다.

또 하나 주목할 만한 오염지표는 질산성질소이며, 일반적으로 토양에서 무기질소는 암모니아로 분해되고 아질산염과 질산염으로 산화되며, 질산염은 식물이 성장

하는 동안 섭취되어 유기질소 화합물의 합성에 이용되며 지하수를 따라 이동한다.¹¹⁾ 미국에서 질산염은 거의 모든 지표수와 지하수에 존재하며 4 mg/L 이하이고, 대부분의 모든 국가에서 질산염의 농도는 지표수로부터 채수되는 먹는물에서 10 mg/L를 넘지 않는다고 한다.¹²⁾

인간에 대한 질산염의 위해성은 아질산염으로 환원되어 정상 헤모글로빈을 메트헤모글로빈으로 산화시켜 인체조직에 산소를 공급할 수가 없게 되는 청색증(Blue-Baby)을 야기시킨다.¹²⁾ 특히 어른보다 어린이와 임신여성에게 치명적이며 이러한 역학적 자료들은 질산성질소 10 mg/L를 권장치로 지지한다. 그렇지만 이 값은 질산성질소로 표현하지 않고 건강에 관계되는 화학적 실재물인 질산염으로써 표현되며 질산염에 대한 권장치는 50 mg/L이라고 한다.¹³⁾

이상에서 보는 바와 같이 광산 주변에서 사용 중인 지하수 13개 지점의 62%인 8개 지점의 지하수가 음용용수로는 부적합한 것으로 나타났다. 중금속이나 휘발성 유기화합물 등의 오염 우려는 없었으나, 불소 및 질산성질소로 인한 건강 유해성은 심각하여 지역주민 홍보를 통한 지하수 사용에 적절한 관리가 필요하다.

Table 3에 지하수 중의 석면을 투과전자현미경을 이용하여 분석한 결과를 표시하였다. 먼저 수질의 측정과

Table 3. Analytical results of groundwater samples for asbestos by TEM

순서	시료명	주소 및 용도	여과량 (mL)	분석 G.O. ^a 개수	분석감도 ^b (MFL ^c)	투과전자현미경 결과 ^d (MFL ^c)	석면 함유의 개수	석면의 종류
1	F1	하천수	1	9	1.4	< 1.4	0	
2	F2	하천수	2	9	0.7	< 0.7	0	
3	F6	충주호	2	9	0.7	< 0.7	0	
4	F3	하천수	5	9	0.3	< 0.3	0	
5	F5	하천수	10	7	0.2	< 0.2	0	
6	F4	하천수	2	9	0.7	< 0.7	0	
7	W1	관측공 (20m)	0.5	5	5.2	20.8	4	직섬석석면
8	W2	관측공 (30m)	0.5	5	5.2	15.6	3	직섬석석면
9	G9	제천시 수산면 다불리	50	7	0.04	< 0.04	0	
10	G10	제천시 수산면 다불리	1	9	1.4	< 1.4	0	
11	G01	제천시 수산면 수산리	5	9	0.3	< 0.3	0	
12	G03	제천시 수산면 전곡리	50	7	0.04	< 0.04	0	
13	G04	제천시 수산면 전곡리	50	7	0.04	< 0.04	0	
14	G11	제천시 수산면 수산리	20	7	0.09	< 0.09	0	
15	G08	제천시 수산면 수산리	100	7	0.02	< 0.02	0	
16	G02	제천시 수산면 전곡리	20	7	0.2	< 0.2	0	
17	G07	제천시 수산면 울지리	50	7	0.1	< 0.1	0	
18	G06	제천시 수산면 도전리	50	7	0.04	< 0.04	0	
19	G05	제천시 수산면 구곡리	50	7	0.04	< 0.04	0	
20	G13	제천시 수산면 수산리	50	7	0.04	< 0.04	0	
21	G12	제천시 수산면 내리	50	7	0.04	< 0.04	0	

a: G.O. (grid opening)

b: analytical sensitivity = $\frac{1 \text{ fiber} \times \text{effective filter area of the final sampling filter}}{\text{number of grid openings counted} \times \text{grid opening area} \times \text{volume of sample filtered}}$

c: MFL (millions of fibers per liter)

d: Result = analytical sensitivity x number of asbestos fibers counted

지하수 내에서의 석면 이동을 알아보기 위해 인위적으로 시추한 채석장의 관측공에서 다량의 직섬석석면 (Anthrophyllite)이 수심 20 m 지점에서는 20.8 MFL, 30 m 지점에서는 15.6 MFL 검출되어 미국 EPA 음용수 기준 7 MFL을 초과하는 것으로 조사되었으나, 이는 시추 시 석면압석 중에서 발생된 석면함유가 수중에 부유하고 있는 것으로 추정된다. 다만 채석장 관측공의 지하수는 직접 주민이 사용하는 것은 아니고, 이것이 지층의 여과로 인해 정화되어 음용이나 생활용수로 사용하고 있는 다른 지점 지하수에서는 석면이 전혀 검출되지 않는 것으로 보아 현재 사용하는 지하수에서의 석면피해 우려는 없다고 추정된다.

3.2. 공기 중 석면 실태조사

석면분석에 필요한 시료를 채취하기 위한 주요인자는 습도와 바람의 방향으로 기상청 기후 통계분석자료

에 의하면, 제천시는 내륙의 고지대에 위치한 관계로 다른 지방에 비해 첫서리, 첫얼음이 비교적 빨리 나타난다고 한다. 2010년 계절관측으로 첫서리 및 첫얼음은 9월 27일, 첫눈은 10월 23일에 관측되었으며, 연평균기온은 10.1°C, 연교차는 29.0°C이고, 연평균강수량은 1,283.8 mm이었다.⁷⁾ Fig. 3의 2010년 제천시 바람장미도를 살펴보면 바람은 연중 서풍이 탁월한 가운데 남서풍의 빈도도 높은 편이다. 시료채취 시기인 2010년 10월 제천시 기상관측소에서 측정한 주풍향은 서남서 (WSW)이었고, 시료채취 시에도 풍향풍속계(Kestrel 4500NV, Pocket Weather Tracker)로 측정한 주풍향이 서남서(WSW)로 나타났다.

3.2.1 일반 대기질의 석면분석

일반대기 중 석면분석은 위상차현미경(PCM)법과 투과전자현미경(TEM)법으로 분석하였다. Table 4에 함유

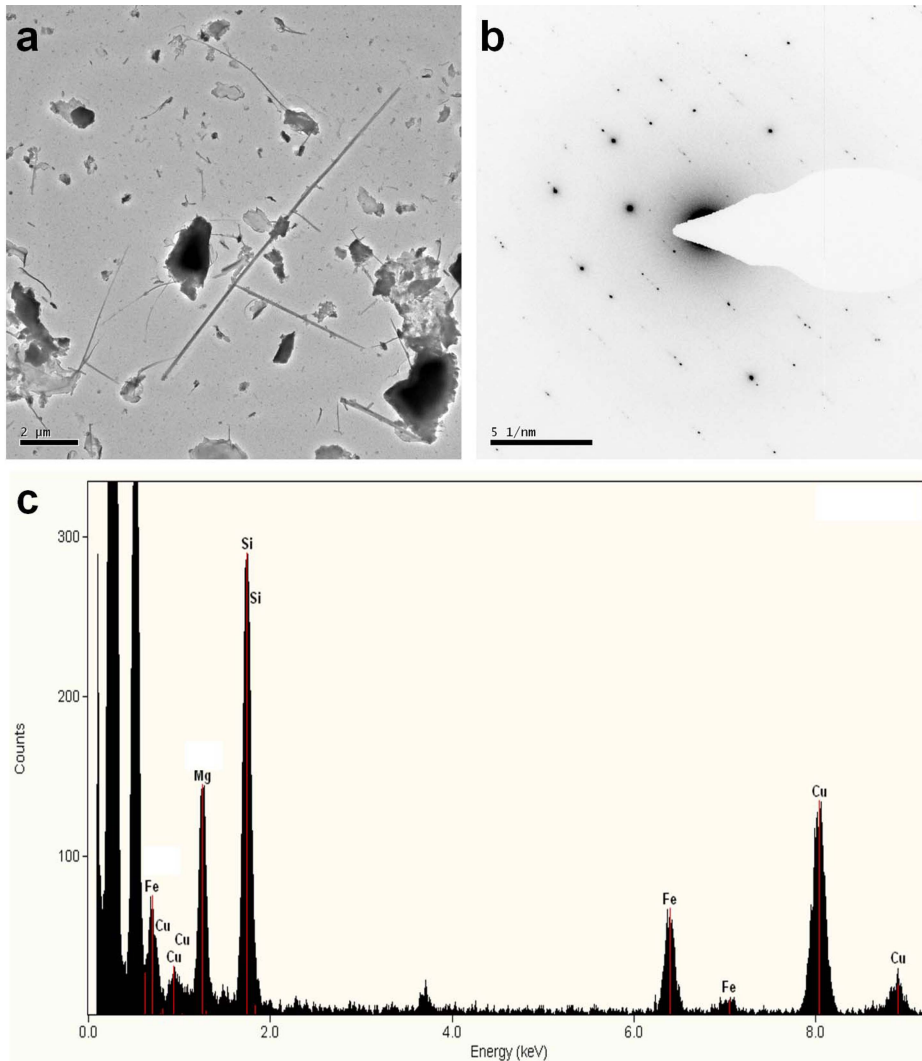


Fig. 2. TEM photographs of anthrophyllite fibers in a monitoring well at the quarry. (a) A type of fiber observed by TEM, (b) Pattern of selected area electron diffraction (SAED), (c) Compositional analysis diagram using energy dispersive X-ray spectrometer (EDS).

상 물질이 검출된 지점은 위성차현미경법에서 20개 지점 중 8개 지점으로 0.0025~0.0029 f/cc 농도범위를 보였으며, ‘다중이용시설의 실내공기질 관리법’의 실내 공기질 권고기준(0.01 f/cc)에 미치지 못하는 수준이다. 이 섬유상 물질을 투과전자현미경으로 분석한 결과, 석면물질이 아닌 것으로 판정되었다. 다른나라의 경우, 이탈리아와 프랑스의 백석면 광산주변 일반 대기질 중 석면농도는 0.0025 f/cc, 0.001~0.017 f/cc, 캐나다 광산 지역의 1974년도 0.046 f/cc, 1984년도 0.010 f/cc로 측정된 바 있다.¹⁴⁾

국의 석면광산 인근 주민들에게 발생한 건강문제의

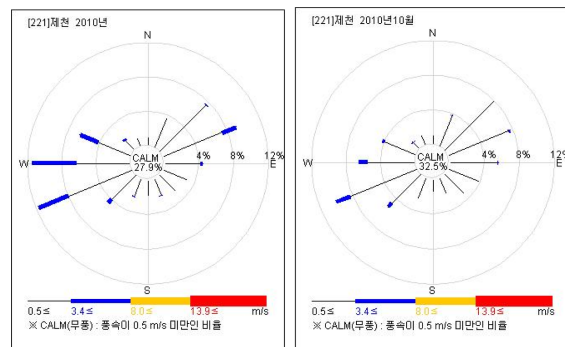


Fig. 3. Wind rose diagram in Jecheon-si.

Table 4. Analytical results of airborne samples for asbestos

구분	시료채취위치	PCM 분석결과		TEM 분석결과		
		계수섬유 (fibers)	검사결과 (f/cc)	석면의 개수 (fibers)	검사결과 (f/cc)	석면종류
1	충북제천시수산면 (앞실마을부근) 동경128:11:40.07 북위:36:56:37.02	4	0.0016*	0	<0.002	
2	충북제천시수산면 (지곡리쇠실마을부근) 동경128:12:00.64 북위:36:56:02.94	6	0.0025	0	<0.002	
3	충북제천시수산면 동경128:11:07.42 북위:36:56:30.21	6.5	0.0027	0	<0.002	
4	충북제천시수산면 (다불사들어가는도로) 동경128:11:37.72 북위:36:56:21.51	7	0.0029	0	<0.002	
5	충북제천시수산면 (다불사마을입구) 동경128:12:15.21 북위:36:56:21.12	6	0.0025	0	<0.002	
6	충북제천시수산면 (다불사너머마을) 동경128:12:25.70 북위:36:56:19.53	2	0.0008*	0	<0.002	
7	충북제천시수산면 동경128:11:34.18 북위:36:56:45.70	5.5	0.0022	0	<0.002	
8	충북제천시수산면 (수산복지회관) 동경128:11:15.80 북위:36:55:54.28	1.5	0.0006*	0	<0.002	
9	충북제천시수산면 (방골교) 동경128:12:02.00 북위:36:55:49.15	5	0.0020*	0	<0.002	
10	충북제천시수산면 (방골교 뒷편 야산) 동경128:12:27.15 북위:36:55:57.45	6	0.0025	0	<0.002	
11	충북제천시수산면 (백경횃집) 동경128:11:44.18 북위:36:55:57.63	4	0.0016*	0	<0.002	
12	충북제천시수산면 (수산면내공중화장실) 동경128:11:03.53 북위:36:55:51.58	2	0.0008*	0	<0.002	
13	충북제천시수산면 (수산우체국옆사거리) 동경128:10:47.11 북위:36:55:54.81	7	0.0029	0	<0.002	
14	충북제천시수산면 (조경석재내) 동경128:11:25.55 북위:36:55:53.74	5.5	0.0022	0	<0.002	
15	충북제천시수산면 (주)수산석재내 동경128:11:32.43 북위:36:56:27.35	3	0.0012*	0	<0.002	
16	충북제천시수산면 (구곡리입구삼거리) 동경128:11:04.52 북위:36:55:41.13	2	0.0008*	2	<0.002	Tremolite
17	수산복지회관 동경128:11:15.80 북위:36:55:54.28	1	0.0004*	0	<0.002	
18	수산면내공중화장실 동경128:11:03.53 북위:36:55:51.58	5	0.0020*	1	<0.002	Amosite
19	앞실마을부근 동경128:11:40.07 북위:36:56:37.02	4	0.0016*	1	<0.002	Chrysotile
20	구곡리입구삼거리 동경128:11:04.52 북위:36:55:41.13	3	0.0012*	0	<0.002	

*검량한계 < 7 fibers/mm²

전형적인 연구는 Wagner 등이 실시한 남아프리카공화국의 청석면 광산 주변에 대한 연구인데, 1956~1959년에 발생한 67건의 악성중피종 중 29건이 청석면에 대한 비직업적 환경적 노출에 의한 것으로 보고하였으며,¹⁵⁾ 광산주변 주민피해의 다른 예는 청석면 광산이 있는 호주 서부의 Wittenoon에서 비직업성, 비가족성이면서 환경성 노출에 의한 악성중피종 발생에 대한 보고가 있다.¹⁶⁻¹⁷⁾

앞으로 걷기, 자전거, 자동차 타기 등 주민들이 일상 생활 중에서 석면에 보다 많이 노출될 수 있는 시료채취를 통한 세부적인 대기질 석면조사가 요구된다.

3.2.2. 활동근거시료채취(ABS, Activity Based Sampling) 석면분석

일반 대기질에 석면이 검출되지는 않았으나, 농촌지역의 특성상 토지 경작 활동 등에 의해 발생하는 섬유상 물질의 비산여부를 조사하기 위한 활동근거시료채취는 네 가지 시나리오(밭갈기, 마당쓸기, 김매기, 예초기)로 구분하여 실시하였다. 이를 위상차현미경으로 분석한 결과, 전체적으로 0.0025~0.6130 f/cc로 일반 대기질의 석면분석 결과보다 높게 측정되었고, 특히 예초기 작업시 가장 높은 농도인 0.1283~0.6139 f/cc로 분석되었다. 토양 교란활동을 수행하는 활동근거 시료채취 시 토양내 섬유상 물질이 많이 비산되었을 것으로 판단된다. 이에 대한 세부적인 섬유상 물질이 석면인지에 대한 투과전자현미경 분석은 진행 중이며, 지역주민 설문조사를 토대로 추후 인체 위해도 평가를 실시할 예정이다.

Fig. 4에서는 공기 중 섬유상 입자농도와 입자상 물질의 직경에 따른 농도의 상관관계(n=11)를 비교하였다. 총부유분진(TSP, Total Suspended Particle), 입자의 직경이 10 μm 이하인 먼지 PM10(particle matter

less 10), PM5와 위상차현미경으로 측정된 공기 중 섬유상 물질의 농도와 선형회귀 분석한 결과, 데이터의 절대부족으로 단정적인 평가를 내리기는 부족하나 그 중 총부유분진(TSP)이 결정계수 $r^2=0.845$ 로 상관성은 PM10, PM5보다 높았고, 앞으로 더 많은 데이터를 축적하여 석면과 부유분진의 관계성 규명을 확인하도록 하겠다.

4. 결 론

충북 제천시의 동이광산을 중심으로 주변 하천 및 지하수에 대한 수질특성과 일반대기 중 석면을 정밀 조사하여 지역주민의 건강 위해성을 방지하는데 기초자료를 제공하고저 본 연구를 수행하였다.

지하수에서는 채석장 관측공에서 다량의 직섬석석면(Anthrophyllite)이 검출되었으나, 이는 시추 시 석면암석 입자가 발생되어 수중에 부유하고 있는 것으로 추정되며, 사용 중인 지하수 전 지점에서 지층의 여과로 인해 음용이나 생활용수로 사용하고 있는 다른 지점에서는 석면이 전혀 검출되지 않는 것으로 보아 현재 사용하는 지하수에서의 석면피해 우려는 없는 것으로 추정된다. 그러나 광산 주변에서 사용 중인 지하수 13개 지점 중 8개 지점의 지하수가 음용용수로는 부적합한 것으로 조사되었고, 특히 불소와 질산성질소의 오염도가 높아 지역주민 홍보를 통한 지하수 사용에 적절한 관리가 필요한 것으로 나타났다.

공기 중 섬유상 물질과 입자상 물질의 직경에 따른 농도의 상관관계는 TSP가 결정계수 $r^2=0.845$ 로 상관성은 PM10, PM5보다 높았으며, 일반대기 중 섬유상 물질이 검출된 것은 위상차현미경법에서 20개 지점 중 8개 지점으로 0.0025~0.0029 f/cc 농도범위를 보였으나, 이는 '다중이용시설의 실내공기질 관리법'의 실내공기질 권고기준(0.01 f/cc)에도 미치지 못하는 수준이며, 투과전자현미경 분석 결과는 석면이 아닌 것으로 밝혀졌다.

농촌지역의 특성상 토지 경작 활동 등에 의해 발생하는 섬유상 물질의 비산여부를 조사하기 위한 활동근거시료채취는 위상차현미경 분석결과 0.0025~0.6130 f/cc로 일반 대기질의 석면분석 결과보다 높게 측정되었고, 특히 예초기 작업시 가장 높은 농도인 0.1283~0.6139 f/cc로 분석되었다. 앞으로 토양 교란작용이 수반되는 농경활동 등에 의한 인체 건강 위해도 평가가 수행되어야 할 것이다.

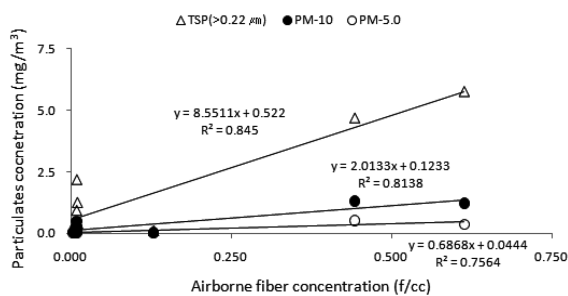


Fig. 4. Correlation analysis of airborne fibers and particulates concentration.

참고문헌

1. 구기주, **2002**, *석면이란 무엇인가*, 11-12, 명문출판사.
2. 홍법식, **1983**, *광물학*, 415-416, 동명사.
3. Becklake, MR. American Review of Respiratory Disease, **1976**, *Asbestos-related diseases of the lung and other organs: their epidemiology and implications for clinical practice*. 187-227.
4. Determination of asbestos structures over 10 μm in length in drinking water, EPA method 100.2, **1994**
5. 석면추방네트워크, **2009**, 충북 제천시 및 강원도 영월군 석면광산 조사 보고서
6. Ambient air-Determination of asbestos fibres-Direct-transfer transmission electron microscopy method, ISO 10312, First edition, **1995**.
7. 기상청, 제천시 무인 기상관측소, <http://www.kma.go.kr>
8. 김수진, **1983**, *광물학 원론*, 427-428, 우성문화사
9. Dean HT, **1942**, *Epidemiological studies in the United States. In: Moulton FR, de. Fluorine and dental health*. Washington, DC, American Association for the Advancement of Science, AAAS Publication NO.19
10. Fluorine and fluorides. Geneva, World Health Organization, **1984** (Environmental Health Criteria, No. 36)
11. Office of Drinking Water, **1987**, *Estimated national occurrence and exposure to nitrate and nitrite in public drinking water supplies*. Washington, DC, US Environmental Protection Agency.
12. Guidelines for drinking-water quality, 2nd ed. Vol. 2. **1996**, Health criteria and other supporting information. World Health Organization, Geneva, 246-252
13. AWWA, **1971**, *Water Quality and Treatment 3rd ed.*, McGraw-Hill Book Company, New York, 246-251
14. 강동묵. *한국환경보건학회지*, 환경성 석면노출의 건강영향. **2009**, Vol. 35. No. 2, 71-77
15. Camus, M., Siemiatycki, J. and Meek, B., **1998**, *Non-occupational exposure to chrysotile asbestos and the risk of lung cancer*. New England Journal of Medicine, 338, 1565-1571.
16. Wagner, J. C., **1991**, *The discovery of the association between blue asbestos and mesothelioma and the aftermath*. British Journal Industrial Medicine, 48, 399-403.
17. Hansen, J., de Klerk, N. H., Musk, A. W. and Hobbs, M. S. T., **1998**, *Environmental exposure to crocidolite and mesothelioma*. American Journal Respiratory Critical Care Medicine, 157, 69-75.