

자연발생석면 영향조사 방법

[시행 2023. 12. 14.] [환경부고시 제2023-286호, 2023. 12. 14., 일부개정]

자연발생석면 영향조사 방법

[시행 2023. 12. 14.] [환경부고시 제2023-286호, 2023. 12. 14., 일부개정]

환경부(환경피해구제과), 044-201-6816

제1장 총 칙 1. 목 적

이 고시는 「석면안전관리법」 제13조제3항과 같은 법 시행령 제20조제2항에 따른 자연발생석면영향조사방법의 예비조사와 본조사의 조사항목, 시료채취 방법 등 세부사항을 정함을 목적으로 한다.

2. 적용범위 및 절차

가. 「석면안전관리법」(이하 '법'이라 한다.) 제13조제3항에 따라 실시하는 자연발생석면영향조사(이하 '영향조사'라 한다.)에 적용한다.

나. 영향조사는 예비조사와 본조사로 구분하여 실시한다.

다. 예비조사는 영향지역의 토지이용, 인구분포 등 지역현황조사, 문헌조사 및 현장방문조사 등을 통해 자료를 수집하여 본조사의 필요성 여부를 결정함을 목적으로 수행한다.

라. 본조사는 예비조사결과 석면에 의한 오염이 확인되거나 오염 개연성이 확인되어 검토위원회를 통하여 본조사 필요성이 결정된 경우에 실시하며, 조사지역의 석면함유가능암석, 토양, 먹는물, 대기 중 석면농도 현황조사와 지역주민의 건강피해 가능성에 대한 인체위해성평가를 실시하여 자연발생석면에 의한 지역주민의 건강위해도를 평가함을 목적으로 하며, 본조사 추진단계 및 절차는 별표 1에 따른다.

마. 예비조사와 본조사의 결과는 석면분야에 경험이 풍부한 산업계·학계 전문가 10인 이내로 구성된 「자연발생석면 영향조사 검토위원회」(이하 "검토위원회"라 한다)의 검토를 받아야 한다.

3. 용어의 정의

가. "석면"이란 석면상(asbestiform)으로 산출되는 규산염광물로서, 사문석계열의 백석면(chrysotile)과 각섬석계열의 갈석면(amosite), 청석면(crocidolite), 안소필라이트(anthophyllite) 석면, 트레모라이트(tremolite) 석면, 악티노라이트(actinolite) 석면 등 6가지 종류를 말한다.

나. "자연발생석면"이란 지질작용 등 자연활동으로 인하여 토양, 암석 등에 포함된 석면을 말한다.

다. "활동근거시료채취법(Activity Based Sampling: ABS(이하"ABS"라 한다))"이란 암석 또는 토양 중 석면이 존재하는 지역 내에 거주하거나 생활하고 있는 사람의 활동에 의한 토양 교란 작용으로 공기 중으로 비산되는 석면이 인체에 끼치는 영향을 파악하기 위하여 실시하는 측정방법이다.

라. "토양의 대기 중 비산가능성 평가"란 일정한 토지에서 토양 중 석면이 농업활동 등 인위적 활동에 의한 토양 교란 작용으로 공기 중으로 비산되는 석면의 농도와 영향을 평가하는 방법이다.

마. "상세석면분포도"란 자연발생석면이 존재할 가능성이 높은 지역을 대상으로 현장 지질조사, 시료채취(암석, 토양), 석면분석 등 세부적인 조사를 통해 획득한 자료를 1:5,000 또는 현장에 적절한 축척으로 작성한 지도이다.

바. "생애초과발암위해도"란 자연발생석면에 평생 호흡기로 노출되었을 때 이로 인하여 추가적으로 암이 발생할 수 있는 확률을 말한다.

4. 조사 기관

영향조사는 법 시행령 제19조에 따라 자연발생석면영향조사 조사기관이 실시한다.

제2장 조사 방법

1. 예비조사

예비조사는 조사지역의 토지이용, 인구분포 등 지역개황조사, 조사지역의 지질특성에 대한 문헌조사 및 현장방문조사 등을 통해 본조사의 필요성 여부 결정을 위한 자료를 수집하기 위하여 다음의 내용을 수행한다.

가. 지역개황조사

- 1) 일반현황
- 2) 토지이용 현황
- 3) 영향권 내의 주거 및 인구분포 현황
- 4) 상수원과 지하수 이용실태
- 5) 농경지 분포 현황
- 6) 기상자료 분석
- 7) 지형 및 지질조사
- 8) 그 밖에 지역현황조사에 필요한 사항

나. 문헌조사

영향조사 부지에서 과거 광산개발이력을 포함한 석면함유가능지역의 지질학적인 사항을 중점적으로 확인한다.

- 1) 석면함유가능 지질대
- 2) 석면함유가능 광구 지역
- 3) 석면 시추 경력 지역
- 4) 석면함유가능 암석 분포 지역
- 5) 기 수행된 암석, 토양, 먹는물, 대기 중 석면조사 자료 수집

다. 현장조사

영향조사 부지를 직접 방문하여 영향지역의 석면함유 개연성을 확인한다.

- 1) 현행 등록 석면광산지역과 그 주변지역의 현장 방문
- 2) 과거 대규모로 석면이 개발되었으나 현재는 휴광 또는 폐광된 광산과 그 주변지역의 현장 조사
- 3) 대표적인 석면함유암상 분포지역의 현장조사
- 4) 필요한 경우 시료의 채취와 분석 수행

라. 보고서 작성 및 검증

영향조사 결과를 종합하여 예비조사 보고서를 작성하고 검토위원회의 검토를 거친다.

- 1) 검토위원회에서는 보고서 내용의 신뢰성을 확인한다.
- 2) 검토위원회에서 보고서를 면밀히 검토하여 본조사의 필요성 여부를 결정한다.

2. 본조사

본조사는 예비조사 결과 석면에 의한 오염이 확인되거나 오염 개연성이 확인되어 검토위원회를 통하여 본조사 필요성이 결정된 경우에 실시하며, 조사지역의 암석, 토양, 수질(먹는물), 실외 대기 중 석면농도 현황조사 및 지역주민의 건강피해 가능성에 대한 인체위해성평가를 수행하여 자연발생석면에 의한 지역주민의 건강위해도를 종합적으로 평

가함을 목적으로 한다.

가. 현황조사 방법

본조사는 현장 여건에 맞는 조사전략을 수립하여 주변 지질환경을 기재하고 자연발생석면 시료채취방법(표적 시료채취 방법 또는 비표적 시료채취 방법)에 따라 지역을 대표할 수 있는 모암을 채취·분석한다. 또한, 토양, 수질(먹는물), 실외 대기를 채취·분석하며 다음의 내용을 포함하여 수행한다.

1) 조사전략 수립

가) 상세석면분포도 작성 방법

나) 노두조사 방법

다) 암석, 토양, 먹는물, 실외 대기질 시료채취 지점 선정 방법

라) 암석, 토양, 먹는물, 실외 대기질 시료채취 방법

마) 암석, 토양, 먹는물, 실외 대기질 시료분석 방법

바) 조사 기간과 조사 회수

2) 상세석면분포도 작성 및 노두 조사 내용

가) 조사지점의 경위도 및 TM좌표(GRS80)

나) 지질단위 접촉부 특징

다) 습곡, 단층, 절리 등의 지질구조적 특징

라) 암상의 변성, 변질, 광화작용

마) 암상의 풍화 정도

바) 석면의 유형, 폭, 넓이, 연장

사) 석면의 산출 상태

아) 초염기성암 또는 사문암의 산상

자) 초염기성암 기반암지역 잔류토양 내 석면 존재여부 확인

3) 시료채취 및 분석

가) 암석, 토양, 먹는물, 실외 대기질 시료채취 지점의 경위도 및 TM좌표(GRS80)

나) 활동근거시료채취법(ABS) 적용 지점의 경위도 및 TM좌표(GRS80)

다) 암석 시료의 분석 방법 및 분석 결과

라) 토양 시료의 분석 방법 및 분석 결과

마) 먹는물 시료의 분석 방법 및 분석 결과

바) 실외 대기질 시료의 분석 방법 및 분석 결과

사) 활동근거시료채취법(ABS)으로 채취한 시료의 분석 방법 및 분석 결과

아) 시료의 균질성 확보 및 정도관리(QA/QC) 방법

자) 시료의 보존과 처분 방법

4) 보고서 작성

가) 본문, 참고문헌, 도해 및 삽화, 추가적인 자료 및 책임 있는 전문가의 서명 등이 포함되어야 한다.

나) 본문에는 조사지역의 지질현황, 조사지점의 기술과 상황, 연구방법, 연구결과 및 결론 등이 포함되어야 한다.

나. 분야별 조사 방법

1) 석면함유가능 암석 조사 방법

가) 지질도 분석

- (1) 초염기성암, 염기성암 및 기타 석면함유가능 암석의 분포 양상
- (2) 파쇄대의 존재 여부
- (3) 세부 지층의 존재 형태
- (4) 석면관련 암상의 부존 위치

나) 노두조사

- (1) 암상의 분포
- (2) 습곡, 단층, 절리 등 지질구조적 특징
- (3) 석면 관련 암석 기재

다) 시료채취

- (1) 대상지역의 분할(150 m × 150 m)
- (2) 노두의 육안 및 관광현미경 감정
- (3) 노두의 석면 존재 개연성 파악
- (4) 대표 시료 채취

라) 시료 분석

석면함유가능 암석의 종류는 육안관찰과 암석 박편을 이용한 관광현미경법(PLM)으로 분석하고, 암석에 포함된 석면은 별표 2의 "암석편"을 이용하여 정성으로 분석한다. 다만, 필요한 경우 투과전자현미경법(TEM), X선회절기법(XRD) 등을 활용할 수 있다.

2) 토양 조사 방법

가) 토양시료채취는 별표 2의 "토양편"의 시료채취방법에 따라 표토(0cm~30cm 심도)를 8방위 또는 갈지자형 시료채취법으로 토양시료채취기 등을 이용하여 채취한다.

나) 시료채취밀도는 10,000m² 당 1개 시료로 한다. 다만, 석면 관련 산업의 채광, 가공, 이송 등의 작업 활동에 의한 비산 및 인체영향 등을 고려하여 농경지, 주거지 및 주변 대지를 중점적으로 조사하며, 세부사항은 별표 2의 "토양편"을 따른다.

다) 토양시료의 채취 지점, 밀도, 깊이 등은 조사대상지역의 토지분포 현황, 오염개연성 정도 등 현장상황에 따라 조정할 수 있다.

라) 토양 시료의 채취 및 석면의 분석에 대한 세부사항은 별표 2의 "토양편"을 따른다. 다만, 필요한 경우 투과전자현미경법(TEM), X선회절기법(XRD) 등을 활용할 수 있다.

3) 수질(먹는물) 조사 방법

가) '수질(먹는물)'이란 음용수로 활용되고 있는 먹는물과 지하수를 말한다.

나) 시료채취 지점은 음용수로 사용 중인 먹는물과 지하수 관측정 등을 대상으로 채수하며 필요한 경우 계절적인 변화를 고려하여 우기와 건기로 구분하여 채수할 수 있다. 단, 음용으로 사용하는 지하수가 없는 경우 시료를 채취하지 않을 수 있다.

다) 수질(먹는물) 시료의 채취 및 석면 함유량 분석에 대한 세부사항은 별표 2의 "수질(먹는물)편"을 따른다.

4) 인체 위해성 평가 방법

가) 석면의 위해성 평가는 실·내외 공기질 및 활동근거시료채취법(ABS)을 이용한 생애초과발암위해도 평가로 실시하며, 세부사항은 별표 3에 따른다. 다만, 토양의 대기 중 비산가능성을 평가하여 활동근거시료채취법과의 상관성을 활용하여 위해성을 평가할 수도 있다.

나) 인체위해성평가의 실내공기질 시료의 채취 조건은 다음과 같다.

(1) 지점 : 석면 오염원(석면 광산 등)을 중심으로 일정 간격으로 정한다. 총 측정 지점 수는 대상 지역의 규모, 인구밀도 등을 고려하여 선정한다.

(2) 기간 : 계절적인 변화를 고려하여 겨울철을 제외한 2계절 이상 조사하여야 한다. 다만, 우천시에는 원칙적으로 조사를 실시하지 않는다.

다) 실외 대기질 시료의 채취 조건은 다음과 같으며, 시료채취 및 석면 분석에 대한 세부사항은 별표 2의 "대기편"을 따른다.

(1) 지점 : 주민들의 이동 동선 및 노출 예상지점 사전조사 결과를 반영하여 정한다. 총 채취지점 수는 대상 지역의 규모, 인구밀도 등을 고려하여 정한다. 채취지점에서의 풍향, 풍속, 기온, 습도 및 기압 등에 대한 기상 정보를 함께 측정하며, 연평균 풍향(주풍향)을 고려하여 풍하측에서 측정한다.

(2) 시점 : 시료 채취 시점은 활동근거시료채취법(ABS)이 실시되기 3일 전부터 활동근거시료채취법(ABS) 종료 후 3일까지 주민의 이용 빈도가 높은 시간대 채취를 원칙으로 한다.

(3) 기간 : 계절적인 변화를 고려하여 겨울철을 제외한 2계절 이상 조사하여야 한다. 다만, 우천시에는 원칙적으로 조사를 실시하지 않는다.

라) 인체 위해성평가의 세부사항은 다음과 같다.

(1) 대상 집단의 선정 : 대상 집단은 지질도를 근거로 하여 예비조사에서 석면의 오염이 확인된 지역에서 선정한다.

(2) 설문조사 : 설문지를 이용하여 거주력, 연령, 직업군, 성별, 활동패턴 등의 특성을 조사한다. 대상 집단의 활동에 따라 근무시간, 여가시간, 거주시간 등을 조사한다.

(3) 노출시나리오 설정 : 설문조사를 통하여 대상지역에 맞는 노출시나리오를 적용한다. 대표적인 활동의 예는 다음과 같다.

- 이동활동(도보, 경운기, 자전거, 오토바이, 차량 운행 등)
- 농업활동(예초기, 흙파기, 김매기 등)
- 여가활동(마당쓸기, 운동, 산책 등)
- 교육활동(어린이집, 초중고 운동장 사용 등)
- 기타 석면위해성 평가에 필요한 활동

(4) 활동근거시료채취(ABS) 방법 : 활동근거시료채취의 석면 농도 측정은 개인모니터링 방법(Personal Sampling)으로 한다.

- 개인모니터링 방법은 대상 집단의 호흡기 높이에서 측정(호흡기 반경 30cm 이내)하며, 성인과 어린이가 모두 가능한 활동일 경우 성인, 어린이의 호흡위치에 기구를 장착하며 동시에 측정한다. 개인모니터링 방법은 1~16 L/min의 유량으로 채취하되, 최소 400L 이상 4,000L 미만으로 채취한다.

- 활동근거시료채취법(ABS)의 시료채취는 각 시나리오별 6회 이상을 원칙으로 한다.
 - 시료채취시 타 활동근거시료채취법의 간섭 및 영향을 받는 동일 시간대 활동은 배제하며, 날짜와 시간을 기록한다.
- (5) 활동근거시료채취(ABS) 방법에 대한 세부사항은 별표 3에 따른다.
- 마) 생애초과발암위해도 산출 방법 등에 관한 최종 확인은 검토위원회의 검토 결과에 따른다.
- 5) 상세석면분포도 작성 방법
- 가) 상세석면분포도는 자연발생석면 지질도를 기초로 하여 작성하되, 석면함유가능 암석 조사결과와 분야별 석면분 석결과를 반영하여 별표 4의 방법으로 관리지역 지정 범위를 결정한다.
- 나) 상세석면분포도 작성에 대한 세부사항은 별표 5에 따른다.
- 다. 보고서 작성 및 검증
- 영향조사 결과를 종합하여 본조사 보고서를 작성하고 보고서의 타당성과 상세석면분포도 축척의 적합성 등에 대하여 검토위원회의 검토를 받는다.
- 1) 조사결과를 토대로 대상지역의 석면분포를 나타내는 상세석면분포도를 보고서에 첨부한다.
 - 2) 검토위원회에서 보고서 내용을 검토하여 본조사의 신뢰성을 확인한다.

제3장 행정사항

1. 재검토기한

가. 환경부장관은 이 고시에 대하여 「훈령·예규 등의 발령 및 관리에 관한 규정」에 따라 2024년 1월 1일 기준으로 매 3년이 되는 시점(매 3년째의 12월 31일까지를 말한다)마다 그 타당성을 검토하여 개선 등의 조치를 하여야 한다.

부칙 <제2012-76호,2012.4.27.>

이 고시는 2012년 4월 29일부터 시행한다.

부칙 <제2018-23호,2018.2.9.>

이 고시는 발령한 날부터 시행한다.

부칙 <제2020-137호,2020.6.23.>

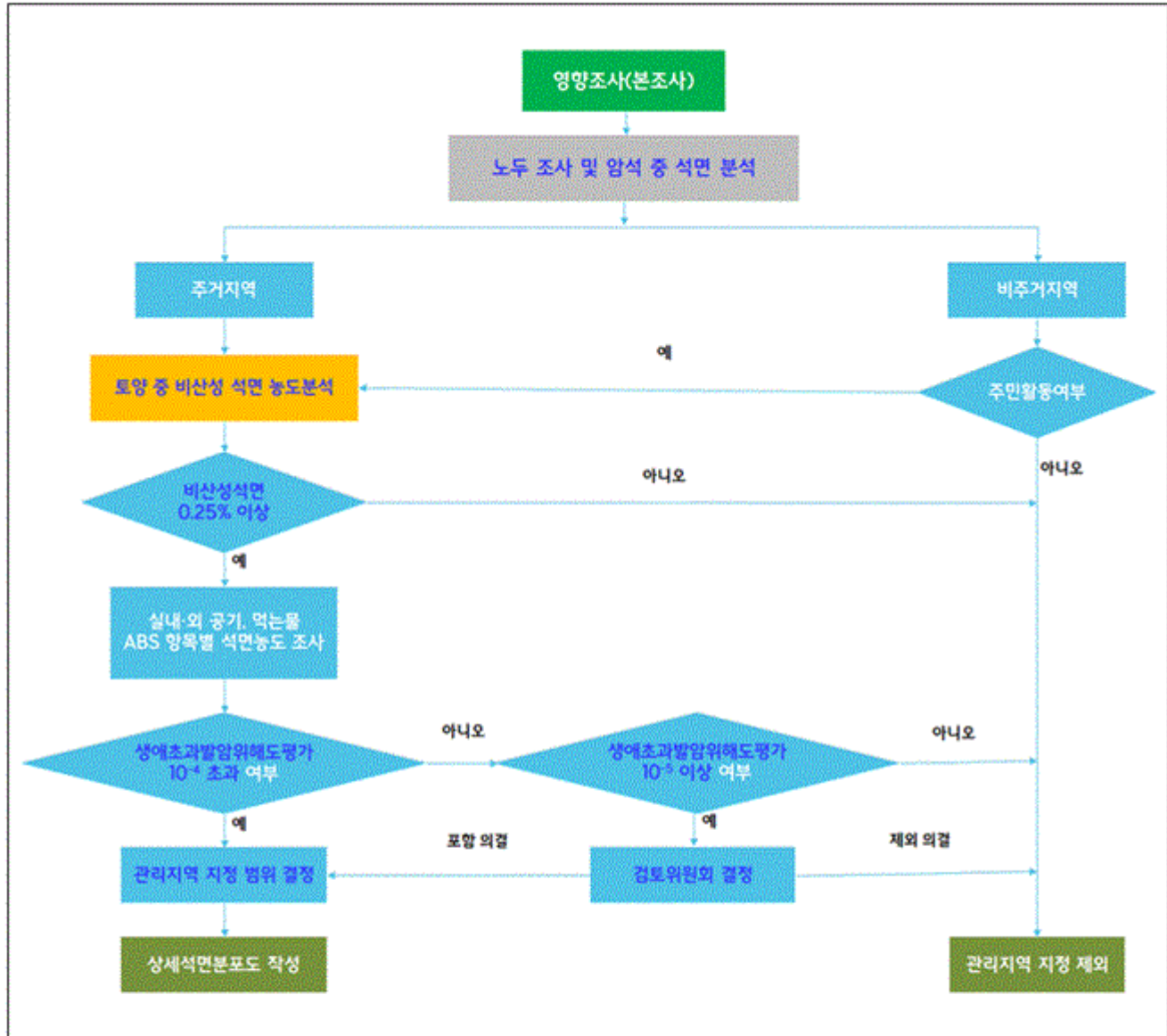
이 고시는 발령한 날부터 시행한다.

부칙 <제2023-286호,2023.12.14.>

이 고시는 발령한 날부터 시행한다.

[별표 1]

자연발생석면 영향조사(본조사) 추진절차



- 영향조사(본조사)는 조사 대상지역의 노두 및 암석조사를 실시하고, 주거지역과 비주거지역 중 주민활동지역에 대하여 토양 중 비산성 석면 분석을 실시한다.
- 비산성 석면분석 결과를 토대로 하여 농도가 0.25% 이상인 경우 지역주민 설문 조사를 통하여 위해성평가 대상지역 우선순위를 정하여 실내·외 공기, 먹는물, ABS 항목별 석면농도 조사한 다음 생애초과발암위해도를 평가한다.
- 생애초과발암위해도 평가결과 <표 1>의 관리지역 지정 기준에 따라 지정 대상

범위를 결정한 후 상세석면분포도를 작성한다.

4. 관리지역 지정 여부의 최종 결정은 검토위원회의 검토를 거쳐 석면안전관리위원회의 심의로 확정한다.

표 1. 영향조사(본조사) 현황조사 및 관리지역 지정 기준

토양 중 비산성 석면농도	불검출, 0.25% 미만	0.25% 이상		
조사항목	-	암석 노두, 실내·외 공기, 먹는물, ABS		
생애초과발암위해도 평가	-	10^{-5} 미만	10^{-5} 이상	10^{-4} 초과
관리대상	관리지역 지정 제외		검토위원회 결정	관리지역 지정 후보

[별표 2]

자연발생석면지역의 환경시료 중 석면 분석방법**I. 암석편****1.0 개요****1.1 목적**

편광현미경을 이용하여 암석시료 중 석면의 특성을 관찰하여 정성분석을 하기 위한 것이다.

1.2 적용범위

자연발생석면 지역의 노두로부터 채취한 암석시료 중의 석면 정성분석에 사용된다.

1.3 조사지점 선정

조사대상 지역의 행정복지센터를 기준으로 조사대상 지역을 구역(150 m × 150 m)으로 분할 한 다음, 노두 조사 대상지점 구역을 선정한다.

2.0 용어 정의

2.1 "굴절률(Refractive Index)"이라 함은 물질(시료)에 빛의 투과시 빛의 속도와 진공에서 빛의 속도 비를 말하며 이는 파장과 온도에 따라 변한다.

2.2 "색"이라 함은 편광현미경의 개방니콜(Single polar 또는 open nicole)상에서 섬유나 미립자의 색을 말한다

2.3 "다색성(Pleochroism)"이라 함은 편광현미경의 개방니콜 상에서 재물대를 회전시켰을 때 회전각에 따라 나타나는 섬유나 미립자 색의 변화를 말한다.

2.4 "형태(Morphology)"라 함은 섬유나 미립자의 모양, 결정구조, 길이 짧음 등을 말한다.

2.5 "쪼개짐(Cleavage)"이라 함은 원자들의 결합이 약해서 일정한 방향으로 쪼개지거나 갈라지는 성질을 말한다. 모든 석면섬유는 한쪽 방향으로의 완전한 방향성을 가지고 있다.

2.6 "간섭색(Interference Color)"이라 함은 상광선과 이상광선의 상호작용에 의해서 나타나는 색으로 미립자의 두께와 방향, 굴절률 등에 따라 다양하게 나타나며 광물 자체의 색은 아니다.

2.7 "간섭상"이라 함은 편광경(conoscope) 장치(Bertrand lens를 넣었을 때)를 했을 때 빛의 간섭이 나타나는 현상으로, 광축의 수에 따라 일축성과 이축성으로 나

눌 수 있고, 각각 결정의 광학적 방향성에 따라 양(+) 또는 음(-)의 간섭상으로 나누어진다.

2.8 "신장율(elongation) 부호"라 함은 편광현미경의 직교니콜(Crossed Polars 또는 Crossed Nicol)상에서 보정판(The First-Order Red Compensator)을 삽입했을 때 평행 굴절률($n_{\parallel}$)과 수직 굴절률($n_{\perp}$)의 크기에 따라 "양(+)" 또는 "음(-)"의 신장율 부호를 나타내는데 굴절률의 크기가 $n_{\parallel} > n_{\perp}$ 일 경우 "양(+)", 굴절률의 크기가 $n_{\parallel} < n_{\perp}$ 일 경우 "음(-)"의 부호이다. 보통, 청색이 북동-남서이고, 오렌지색이 북서-남동의 방향을 가리키고 있다면 양(+)의 신장율 부호를 의미한다. (청석면은 음(-)의 신장율 부호, 백석면 등 5가지 석면은 양(+)의 신장율 부호를 갖는다.)

2.9 "소광(Extinction)" 이라 함은 편광현미경의 직교니콜 상에서 이방성의 섬유나 미립자가 가장 어두워져 보이지 않는 현상을 말한다. 이방성의 섬유나 미립자의 갈라지는 성질(Cleavage)과 접안렌즈의 십자선을 일치시킨 후 재물대를 회전시켜 광물이 없어질(가장 어둡게 될) 때의 사이각을 소광각이라고 한다.

2.10 "복굴절률(Birefringence; 'B') "이라 함은 이방성 광물에 빛이 투과될 때 최대 굴절률과 최소 굴절률의 차이이다. 즉 높은 굴절률 값에서 낮은 굴절률 값을 뺀 값($n_{\parallel} - n_{\perp}$)이다. 또는 이 복굴절률은 방해파장(Retardation; 'R')과 두께(Thickness; 'T')로부터 구할 수 있으며, 이 값은 미셀-레비 도표(The Michel Levy Chart)를 통해 $B=R/1000T$ 의 수식으로 구할 수 있다.

3.0 분석기기 및 기구

3.1 편광현미경 : 100~400 배율

3.1.1 대물렌즈 : 배율 10, 20, 40배 또는 이와 동등한 것

3.1.2 접안렌즈 : 배율 10배 이상인 것

3.1.3 십자선 접안렌즈 (Retic Eyepiece) : 십자선이 있는 것

3.1.4 분산염색 대물렌즈 또는 이와 동등한 것

3.1.5 보정판(The first order red plate compensator 또는 Bertrand lens)
: 약 550 ± 20 nm

3.1.6 재물대(Stage) : 360°회전가능

3.1.7 상부 편광판(Analyzer)

3.1.8 하부 편광판(Polarizer)

3.2 작업후드 또는 글로브 박스 : 헤파필터(HEPA filter)가 장착된 장치

3.3 기구

3.3.1 시료 용기 : 10 ~ 50 mL 용량의 나사마개 있는 플라스틱 용기

3.3.2 막자와 막자사발 또는 저속 핸드드릴 : 저속의 전동방식

3.3.3 체(sieve) : KS 8호(2 mm) 및 200호(75 μ m)

3.3.4 핀셋, 바늘, 약순가락, 외과용 칼 : 시료를 고정, 절단, 이동용

3.3.5 투명종이(Glassine paper) 또는 깨끗한 유리판 : 시료 작업판용

3.3.6 현미경용 슬라이드 유리 : 75 × 25 mm 이상

3.3.7 현미경용 커버 유리 : 22 × 22 mm 이상

4.0 시약 및 표준시료

4.1 시약

4.1.1 분산염색을 위한 굴절액(Refractive index, RI liquids)

4.1.1.1 석면 분석을 위한 주 굴절액의 굴절률

1.550, 1.605, 1.620 1.680, 1.700

4.1.1.2 필요에 따라 다른 섬유와 비교분석하기 위한 굴절액의 굴절률

1.460, 1.500, 1.532, 1.540, 1.544, 1.556, 1.572, 1.588, 1.604, 1.608, 1.612,

1.615, 1.616, 1.630, 1.635, 1.636, 1.640, 1.660, 1.662, 1.670, 1.705

4.2 석면 표준 시료(Standard reference material)¹⁾

순수한 석면 또는 농도가 명시된 시판용 표준시료

5.0 시료채취 및 관리

5.1 안전사항

5.1.1 시료의 채취는 미세한 석면 섬유를 차단할 수 있는 헤파(HEPA)필터류가 장착된 마스크와 보호복 등 모든 보호장비를 구비한 후 채취한다.

5.1.2 시료의 채취는 물을 분무하는 등 가능한 섬유발생이 적도록 조치한다.

5.2 시료의 채취

5.2.1 일반적 요령

5.2.1.1 암석시료의 채취는 일반적으로 자연발생석면지역에서 석면이 노출된 노두를 대상으로 표적시료채취하거나 석면이 포함된 암석시편을 채취한다.

5.2.1.2 여러 개의 시료를 채취 시 서로 오염의 영향을 주지 않도록 채취도구나 보호장비 등의 사용에 주의를 기울인다.

1) NIST(National Institute of Standards and Technology)의 1866b, 1867a 등

5.2.2 채취도구

5.2.2.1 채취도구는 시료의 채취과정 또는 보관 중에 침식되거나 녹이 나는 재질의 것을 사용해서는 안 된다.

5.2.2.2 채취도구로는 정, 망치 등을 준비한다.

5.2.2.3 여러 시료를 채취할 때는 서로 오염이 없도록 충분한 숫자의 채취도구를 준비하거나 안전하고 깨끗한 세척과정²⁾을 거쳐 사용한다.

5.2.3 시료용기

5.2.3.1 시료용기는 시료를 변질시키거나 흡착하지 않는 것이어야 하며 기밀하고 누수나 흡습성이 없어야 한다.

5.2.3.2 시료용기는 무색의 폴리에틸렌병, 폴리에틸렌백, 유리병을 사용하고 시료 중에 다른 물질의 혼입이나 성분의 손실을 방지하기 위하여 밀봉할 수 있는 마개를 사용한다.

5.2.3.3 시료용기의 표시는 시료의 성분명칭, 대상 시료의 양, 채취장소, 채취일자, 시료번호, 채취책임자 이름, 시료의 양, 채취방법, 기타 참고자료 등을 기재한다.

5.2.4 시료의 채취방법

5.2.4.1 암석시료의 채취는 석면이 노출된 노두로부터 석면을 표적시료채취 방식으로 채취한다.

5.2.4.2 가능한 경우 암석시료의 주변 암석분포확인을 위하여 박편을 제작할 수 있는 암석편을 채취한다.

5.2.5 시료의 보관

5.2.5.1 채취 시료는 수분 등의 영향으로 재질의 변화가 일어나지 않도록 고온다습한 곳을 피하고 상온에서 보관한다.

5.2.5.2 채취 시료는 공기 중으로 비산되지 않도록 밀폐용기 또는 HEPA필터가 장착된 후드 안에서 보관한다.

5.2.5.3 시료는 가급적 지정된 장소에 보관한다.

5.2.6 시료의 폐기

5.2.6.1 실험실에서 폐기되는 석면 함유시료나 석면으로 오염된 폐기물은 별도의 장소에 모아 폐기한다.

5.2.6.2 석면 폐기물은 처리량을 고려하여 주기적으로 처리한다.

2) 세척과정은 공기 흡입방식과 물에 씻은 종이 또는 형질으로 세척 작업을 병행한다. 물로 세척하는 경우에는 물에서 석면을 제거하는 시설 또는 장치를 갖추어야 한다.

6.0 정도보증/정도관리(QA/QC)

6.1 교육

분석 담당자에 대한 정기적인 교육이나 관련 정보교환 활동을 통해 석면에 대한 지식과 경험을 쌓도록 한다.

6.2 시험 기기, 기구 및 시약의 관리

6.2.1 시험 기기의 관리

현미경을 사용하기 전에 현미경 일치성 확인을 해야 한다. 이는 1) 하부 편광판과 상부 편광판의 90도 일치, 2) 십자선의 일치, 3) 보정판의 진동방향의 적절한 일치, 4) 조리개안에서 시료의 상과 중심 초점과의 일치, 5) 중심조정 등이 있다.

6.2.2 현미경과 부속품

현미경과 부속품은 최소 1년에 1회 이상 광원의 밝기, 집광장치, 배율 등의 전문적인 기술 서비스를 받아 전체적으로 청소를 하고 재조정이 필요하다.

6.2.3 시험 기구의 관리

석면분석 전 사용되는 분석기구, 분석 장비에 대한 오염여부를 수시로 점검한다. 슬라이드와 커버글라스를 렌즈티슈로 닦고, 핀셋, 막자, 막자사발, 집게 등의 석면 오염을 확인하여 분석일지에 그 결과를 기록한다.

6.2.4 시험 시약의 관리

굴절률 시약은 굴절률 측정기 등을 이용하여 주기적으로 그 굴절률을 확인하여 기록한다.

6.3 내부 정도관리

6.3.1 정성분석

석면분석자는 편광현미경과 입체현미경을 사용하여 6가지 종류의 석면을 정확히 구분할 수 있어야 한다. 분석자는 6가지 종류의 표준시료를 최소 1년 주기로 분석한다.

6.4 외부 정도관리

인증된 다른 석면분석기관 간의 교류를 통하여 서로의 분석능력을 확인하고 검증하며 분석역량을 유지·개발한다.

7.0 분석절차

7.1 시료 전처리

7.1.1 건조

7.1.1.1 표적시료채취한 시료는 시료에 붙은 이물질을 제거한 후 분쇄기 등을 이용하여 분쇄하고, 암석시편으로 채취한 시료는 석면으로 의심되는 부분을 추출하여 분쇄한다.

7.1.1.2 분쇄한 시료는 조제하기 전 수분흡수와 오염의 위험성이 없는 넓은 용기에 5 cm 이하의 두께로 암석시료를 고르게 편 후 가열등, 가열판, 건조기 등을 사용하여 100 ± 5 °C에서 암석시료의 총 무게손실이 24시간 동안 5%(질량기준)이하 일 때까지 건조한다.

7.1.1.3 모든 건조과정은 안전하게 해파필터가 장착된 후드 내에서 수행한다.

7.1.2 체가름

7.1.2.1 건조과정이 끝난 암석시료 약 2g을 분취한 다음, 2mm(KS 8호)체, 75 μ m(KS 200호)체를 체가름을 실시하며, 75 μ m체 위에 남아 있는 체잔류물이 10% 이하가 될 때까지 막자사발과 막자, 분쇄기 등을 이용하여 분쇄한 후 체를 통과시킨다.

7.1.2.2 모든 체가름과정은 안전하게 해파필터가 장착된 후드 내에서 수행한다.

7.1.2.3 75 μ m(KS 200호)체를 통과한 시료는 편광현미경을 이용하여 정성분석한다.

7.1.3 굴절시약 처리

7.1.3.1 슬라이드 유리 위에 굴절시약 1~3 방울을 떨어뜨린 후, 암석시료 일정량을 슬라이드 유리 위 굴절시약에 담그고 바늘, 핀셋 등으로 시료를 적절히 분산시켜 슬라이드 유리 위에 고르고 평평하게 배치시킨다.

7.1.3.2 굴절시약에 완전하게 담긴 시료가 있는 슬라이드 유리 위에 커버 유리로 덮고, 커버 유리를 핀셋이나 고무 등으로 살짝 눌러주어 공극을 제거한다.

7.1.3.3 시료를 전처리할 때는 시료가 너무 적어 함유량 분석에 지장을 주거나 너무 많은 시료를 전처리하여 정성분석 할 때 방해물을 주지 않도록 하며, 커버 글라스 전체 면적의 20% 내외의 빈 공간이 생기도록 하는 것이 좋다.

7.2 정성평가

7.2.1 석면의 정성분석은 시험물질의 형태, 굴절률, 다색성(pleochroism), 색깔, 복굴절률(birefringence), 소광특성(extinction), 신장을 부호(sign of elongation), 분산염색(dispersion staining color) 등 섬유나 광물의 광학 특성을 분석하여 석면의 정성분석이 이루어진다. [표 1]과 같이 시료의 굴절률, 형태 등의 점검표를 작성하여 시료별 석면 종류를 판단한다.

7.2.2 시료를 1.550 굴절시약으로 처리하고 개방니콜 또는 직교니콜 상태로 반복하면서 시료를 확인하고, 재물대를 회전하며 섬유형태를 면밀히 관찰한다. 만일 석

면의 특성과 유사한 섬유가 발견되지 않는다면 석면이 없는 것으로 판단한다.

7.2.3 섬유를 발견하면, 직교니콜상태로 하여 섬유의 특성이 등방성(isotropic)인지 이방성(anisotropic)인지를 확인한다. 만일 모든 섬유가 등방성이고 추가한 전처리 시료도 등방성이면 석면이 없는 것으로 판정한다.

7.2.4 섬유가 이방성이면 재물대를 회전시켜 소광각(angle of extinction)을 측정하여 기록하고 표 2를 참조해 판정한다.

7.2.5 현미경에 석고 검판(gypsum plate)을 삽입한 다음 신장을 부호를 측정한다. 청석면을 제외한 모든 종류의 석면섬유는 양(+)의 부호를 갖으며 음(-)의 부호를 가진 경우는 7.2.8의 단계로 가서 분석한다.

7.2.6 석고 검판(gypsum plate)을 제거하고, 개방니콜에서 섬유-굴절액의 경계선에서 청색과 금갈색의 백케선의 색(Becke color)을 관찰한다.

7.2.7 백석면의 확인

7.2.7.1 백석면의 특징인 꼬임과 굴곡을 가진 다발 모양 등 섬유 형태를 관찰한다. 단, 꼬임이 있되 리본 모양의 형태를 가진 섬유는 셀룰로오스 섬유일 수 있다. 이때는 섬유의 굴절률이 정확히 1.550 인지를 보기 위해 백케선의 이동을 관찰할 필요가 있다. 만약 섬유가 더 높은 굴절률을 보이면 7.2.10의 방법으로 분석하고 그렇지 않으면 다음단계로 넘어간다.

7.2.7.2 백석면을 확인하기 위해 분산염색용 대물렌즈를 끼우고 청색과 청-자홍색을 관찰한다. 이 검사로 백석면이 확인되면 정량은 7.3.1의 분석방법에 따른다.

7.2.8 청석면의 확인

7.2.8.1 청석면을 확인하기 위해 시료를 1.680 굴절시약으로 처리하고 청석면의 형태를 관찰한다. 그 형태는 곧고, 강직한 모양으로 분산염색은 가로방향($n_{\parallel}$)에서 황금색을 띠고 세로방향($n_{\perp}$)에서는 연한 노란색을 나타낸다. 이 검사로 청석면이 확인되면 정량은 7.3.1의 분석방법에 따른다.

7.2.8.2 청석면을 확인하기 위해 시료를 1.700 굴절시약으로 처리하고 청석면의 형태를 관찰한다. 그 형태는 곧고, 강직한 모양으로 청색 또는 자청색을 띤다. 다색성을 나타내어 회전각도에 따라 파란색 또는 회색빛을 띠고 분산염색용 대물렌즈를 끼우고 관찰하면 붉은 자홍색과 파란 자홍색을 나타낸다. 이 검사로 청석면이 확인되면 정량은 7.3.1의 분석방법에 따른다.

7.2.9 갈석면의 확인

갈석면을 확인하기 위해 시료를 1.680 굴절시약으로 처리하고 갈석면의 형태를

관찰한다. 갈석면은 곧은 섬유와 빗자루 같은 섬유다발이거나 끝이 벌어진 모양이고 분산염색은 커밍토나이트(cummingtonite) 형태는 연한 청색과 청색을 나타내며, 그루네라이트(grunerite) 형태는 청색과 금색을 띤다. 이 검사로 갈석면이 확인되면 정량은 7.3.1의 분석방법에 따른다.

7.2.10 안소필라이트-트레모라이트-악티노라이트의 확인

7.2.10.1 안소필라이트-트레모라이트-악티노라이트를 확인하기 위해 1.605 굴절시약을 준비하고 안소필라이트-트레모라이트-악티노라이트의 형태를 관찰한다. 이 섬유들의 굴절률은 같은 종 내에서도 다르며, 안소필라이트는 거의 평행소광을 보이므로, 이 특성을 이용해 트레모라이트와 악티노라이트의 구별이 가능하다. 세 섬유 모두 곧으며 쪼개지기도 한다.

7.2.10.2 분산염색의 대물렌즈를 이용하여 관찰할 경우 안소필라이트는 청색과 황금색·금빛 자홍색을 나타낸다.

7.2.10.3 트레모라이트는 연한 청색과 노란색을 나타낸다.

7.2.10.4 악티노라이트는 개방니콜 하에서 밝은 녹색에서 어두운 녹색을 띠며 약간의 다색성을 보인다. 악티노라이트의 분산염색은 노란색과 연한 노랑을 나타낸다.

7.2.11 규회석³⁾과 안소필라이트의 비교

규회석과 안소필라이트와의 비교를 위해서 시료를 굴절시약 처리 전에 진한 염산으로 시료가 있는 슬라이드에 떨어뜨려 전처리하고 커버슬라이드를 덮고, 전열기 위에서 따뜻하게 하여 건조시킨다. 모세관 현상을 이용하여, 커버글라스 밑에 1.620 굴절시약을 넣고 편광현미경으로 관찰하면, 규회석은 "음영교차(cross-hatched)" 형태를 띠고 분산염색을 보이지 않는 반면 트레모라이트와 안소필라이트는 분산염색을 나타낸다.

7.3 투과전자현미경 분석

편광현미경 분석결과 석면의 종류를 확인하기 곤란한 경우 투과전자현미경 분석을 실시할 수 있다.

7.3.1 시편 전처리

7.3.1.1 체가름을 통해 구분되어 나온 입자크기(75 μm 미만)에 따라 제작한다.

7.3.1.2 암석시료 100 mg~200 mg을 칭량하여 증류수에 넣어 100 mL 용액을 만든다.

7.3.1.3 교반기를 이용하여 5분간 암석시료가 골고루 분산될 수 있도록 교반 후 30

3) 규회석(wollastonite)은 안소필라이트와 거의 비슷한 성질을 가지고 있어 분석할 때 주의해야 한다.

초 간 큰 입자들을 침강하게 한 후 용기의 중간지점에서 여과지의 크기에 따라 시료가 그리드 면적의 20% 내외로 분포하도록 1 mL 또는 10 mL를 분취한 다음 MCE 필터(D 25 mm 또는 47 mm, pore size 0.45 μ m)로 여과한다.

7.3.1.4 여과된 필터는 데시케이터 안에서 48시간 건조한다.

7.3.2 필터를 이용한 시편제작

7.3.2.1 여과된 필터를 1/4로 절개하고 투명화 용액(dimethylformamide 35 mL + glacial acetic acid 15 mL + Water 50 mL)으로 투명화한다.

7.3.2.2 플라즈마 회화장치(Plasma Asher)를 이용하여 필터표면 두께의 약 10%를 에칭(etching)처리한다.

7.3.2.3 탄소 코팅기(Carbon Coater)로 코팅하고, Grid에 정착시킨 후 포화용액(dimethylformamide 50% + acetone 50%)이 든 Jaffe washer로 필터를 녹인 다음 건조한다.

7.3.3 드롭 마운트 스크리닝

7.3.3.1 필터를 이용한 분석이 원활하지 않은 경우 드롭 마운트 스크리닝 방법을 이용하여 투과현미경 분석을 실시할 수 있다.

7.3.3.2 신틸레이션 바이알(Scintillation vial) 또는 이와 동등한 것에 약 20~100 mg의 암석시료를 넣고 2~5 mL의 에탄올 또는 기타 알코올을 추가하여 현탁시킨 다음, 현탁액을 3분 동안 초음파처리한다.

7.3.3.3 현탁액을 흔들면서 바로 3 μ L 분취량을 추출하여 탄소 코팅된 그리드에 떨어뜨린 다음 건조시킨다음, 두 번째 분취량도 이 과정을 반복한다. 같은 방법으로 또 다른 그리드(직경 3mm, 200 메쉬)를 만든다.

7.3.3.4 건조되는 동안 드롭이 그리드 안에서 비활성상태로 그리드 표면을 벗어나지 않도록 한다.

7.3.4 정성 분석

7.3.4.1 정성분석은 다음 각 호의 방법으로 실시할 수 있다.

1. 국제표준기구(International Standard Organization) 시험법 : ISO 22262-1 Air quality-Bulk materials-Part 1(Sampling and qualitative determination of asbestos in commercial bulk materials, 2012)
2. 제1호와 동등하게 투과전자현미경을 이용한 석면 분석방법을 제시하는 미국 환경청(US EPA), 미국 국립산업안전보건연구원(NIOSH) 등의 석면 정성 분석방법

8.0 결과보고

8.1 정성 분석

편광현미경으로 암석시료를 관찰하여 [서식 1]의 양식으로 기록하여 석면의 종류를 확인하고, 검출된 석면은 사진촬영 한다.[서식 2]

II. 토양편

1.0 개요

1.1 목적

편광현미경을 이용하여 토양시료 중 석면의 특성을 관찰하여 정성·정량분석을 하기 위한 것이다.

1.2 적용범위

토양시료 중의 석면분석에 사용되며 편광현미경으로 판단할 수 있는 석면의 정량범위(400 포인트 계수법)는 0.25~100% 이다. 유효측정한계는 0.25% 이상으로 한다.

1.3 조사지점 선정

조사대상 지역의 행정복지센터를 기준으로 조사대상 지역을 구역(100 m × 100 m)으로 분할 한 다음, 토양 조사 대상지점 구역을 선정한다.

2.0 용어 정의

2.1 "굴절률(Refractive Index)"이라 함은 물질(시료)에 빛의 투과시 빛의 속도와 진공에서 빛의 속도 비를 말하며 이는 파장과 온도에 따라 변한다.

2.2 "색"이라 함은 편광현미경의 개방니콜(Single polar 또는 open nicole)상에서 섬유나 미립자의 색을 말한다

2.3 "다색성(Pleochroism)"이라 함은 편광현미경의 개방니콜 상에서 재물대를 회전시켰을 때 회전각에 따라 나타나는 섬유나 미립자 색의 변화를 말한다.

2.4 "형태(Morphology)"라 함은 섬유나 미립자의 모양, 결정구조, 길이 짧음 등을 말한다.

2.5 "조개짐(Cleavage)"이라 함은 원자들의 결합이 약해서 일정한 방향으로 조개지거나 갈라지는 성질을 말한다. 모든 석면섬유는 한쪽 방향으로의 완전한 방향성을 가지고 있다.

2.6 "간섭색(Interference Color)"이라 함은 상광선과 이상광선의 상호작용에 의해서 나타나는 색으로 미립자의 두께와 방향, 복굴절률 등에 따라 다양하게 나타나며 광물 자체의 색은 아니다.

2.7 "간섭상"이라 함은 편광경(conoscope) 장치(Bertrand lens를 넣었을 때)를 했을 때 빛의 간섭이 나타나는 현상으로, 광축의 수에 따라 일축성과 이축성으로 나눌 수 있고, 각각 결정의 광학적 방향성에 따라 양(+) 또는 음(-)의 간섭상으로 나누어진다.

2.8 "신장율(elongation) 부호"라 함은 편광현미경의 직교니콜(Crossed Polars 또는 Crossed Nicol)상에서 보정판(The First-Order Red Compensator)을 삽입했을 때 평행 굴절률($n_{\parallel}$)과 수직 굴절률($n_{\perp}$)의 크기에 따라 "양(+)" 또는 "음(-)"의 신장율 부호를 나타내는데 굴절률의 크기가 $n_{\parallel} > n_{\perp}$ 일 경우 "양(+)", 굴절률의 크기가 $n_{\parallel} < n_{\perp}$ 일 경우 "음(-)"의 부호이다. 보통, 청색이 북동-남서이고, 오렌지색이 북서-남동의 방향을 가리키고 있다면 양(+)의 신장율 부호를 의미한다. (청석면은 음(-)의 신장율 부호, 백석면 등 5가지 석면은 양(+)의 신장율 부호를 갖는다.)

2.9 "소광(Extinction)" 이라 함은 편광현미경의 직교니콜 상에서 이방성의 섬유나 미립자가 가장 어두워져 보이지 않는 현상을 말한다. 이방성의 섬유나 미립자의 갈라지는 성질(Cleavage)과 접안렌즈의 십자선을 일치시킨 후 재물대를 회전시켜 광물이 없어질(가장 어둡게 될) 때의 사이각을 소광각이라고 한다.

2.10 "복굴절률(Birefringence; 'B') "이라 함은 이방성 광물에 빛이 투과될 때 최대 굴절률과 최소 굴절률의 차이이다. 즉 높은 굴절률 값에서 낮은 굴절률 값을 뺀 값($n_{\parallel} - n_{\perp}$)이다. 또는 이 복굴절률은 방해파장(Retardation; 'R')과 두께(Thickness; 'T')로부터 구할 수 있으며, 이 값은 미셸-레비 도표(The Michel Levy Chart)를 통해 $B=R/1000T$ 의 수식으로 구할 수 있다.

2.11 "비산성 석면"이라 함은 토양시료를 분쇄하지 않고 75 μm 체를 통과한 전처리 시료에서 분석된 석면을 말한다.

2.12 "잠재성 석면"이라 함은 토양시료를 분쇄하지 않고 75 μm 체를 이용하여 체가름을 실시한 후 75 μm 체 위의 시료가 90% 이상 통과하도록 분쇄하여 체가름한 전처리 시료에서 분석된 석면을 말한다.

3.0 분석기기 및 기구

3.1 편광현미경 : 100~400 배율

3.1.1 대물렌즈 : 배율 10, 20, 40배 또는 이와 동등한 것

3.1.2 접안렌즈 : 배율 10배 이상인 것

3.1.3 십자선 접안렌즈 (Retic Eyepiece) : 십자선이 있는 것

3.1.4 분산염색 대물렌즈 또는 이와 동등한 것

3.1.5 보정판(The first order red plate compensator 또는 Bertrand lens)

: 약 $550 \pm 20 \text{ nm}$

3.1.6 재물대(Stage) : 360°회전가능

3.1.7 상부 편광판(Analyzer)

3.1.8 하부 편광판(Polarizer)

3.2 작업후드 또는 글로브 박스 : 헤파필터(HEPA filter)가 장착된 장치

3.3 기구

3.3.1 시료 용기 : 10~50 mL 용량의 나사마개 있는 플라스틱 용기

3.3.2 막자와 막자사발 또는 저속 핸드드릴 : 저속의 전동방식

3.3.3 체(sieve) : KS 8호(2 mm) 및 200호(75 μ m)

3.3.4 핀셋, 바늘, 약순가락, 외과용 칼 : 시료를 고정, 절단, 이동용

3.3.5 투명종이(Glassine paper) 또는 깨끗한 유리판 : 시료 작업판용

3.3.6 현미경용 슬라이드 유리 : 75 × 25 mm 이상

3.3.7 현미경용 커버 유리 : 30 × 22 mm 이상

4.0 시약 및 표준시료

4.1 시약

4.1.1 분산염색을 위한 굴절액(Refractive index, RI liquids)

4.1.1.1 석면 분석을 위한 주 굴절액의 굴절률

1.550, 1.605, 1.620 1.680, 1.700

4.1.1.2 필요에 따라 다른 섬유와 비교분석하기 위한 굴절액의 굴절률

1.460, 1.500, 1.532, 1.540, 1.544, 1.556, 1.572, 1.588, 1.604, 1.608, 1.612, 1.615,
1.616, 1.630, 1.635, 1.636, 1.640, 1.660, 1.662, 1.670, 1.705

4.2 석면 표준 시료(Standard reference material)⁴⁾

순수한 석면 또는 농도가 명시된 시판용 표준시료

5.0 시료채취 및 관리

5.1 안전사항

5.1.1 시료의 채취는 미세한 석면 섬유를 차단할 수 있는 헤파(HEPA)필터류가 장착된 마스크와 보호복 등 모든 보호장비를 구비한 후 채취한다.

5.1.2 시료의 채취는 물을 분무하는 등 가능한 섬유발생이 적도록 조치한다.

5.2 시료의 채취

5.2.1 일반적 요령

4) NIST(National Institute of Standards and Technology)의 1866b, 1867a 등

5.2.1.1 토양시료의 채취는 일반적으로 석면으로 인한 토양오염이 우려되는 지역을 대상으로 채취한다.

5.2.1.2 여러 개의 시료를 채취 시 서로 오염의 영향을 주지 않도록 채취도구나 보호장비 등의 사용에 주의를 기울인다.

5.2.2 채취도구

5.2.2.1 채취도구는 시료의 채취과정 또는 보관 중에 침식되거나 녹이 나는 재질의 것을 사용해서는 안 된다.

5.2.2.2 채취도구로는 토양오염공정시험기준의 토양시료채취기 또는 모종삽 등을 준비한다.

5.2.2.3 여러 시료를 채취할 때는 서로 오염이 없도록 충분한 숫자의 채취도구를 준비하거나 안전하고 깨끗한 세척과정을 거쳐 사용한다.

5.2.3 시료용기

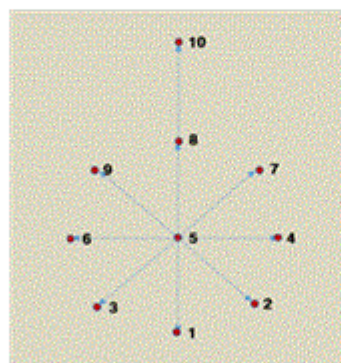
5.2.3.1 시료용기는 시료를 변질시키거나 흡착하지 않는 것이어야 하며 기밀하고 누수나 흡습성이 없어야 한다.

5.2.3.2 시료용기는 무색의 폴리에틸렌병, 폴리에틸렌백, 유리병을 사용하고 시료 중에 다른 물질의 혼입이나 성분의 손실을 방지하기 위하여 밀봉할 수 있는 마개를 사용한다.

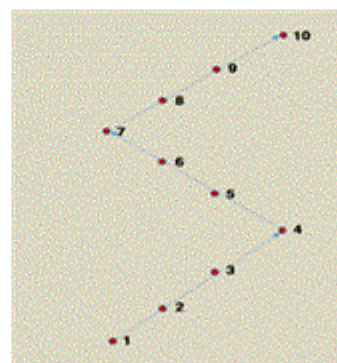
5.2.3.3 시료용기의 표시는 시료의 성분명칭, 대상 시료의 양, 채취장소, 채취일자, 시료번호, 채취책임자 이름, 시료의 양, 채취방법, 기타 참고자료 등을 기재한다.

5.2.4 시료의 채취방법

5.2.4.1 토양시료의 채취는 지형여건 및 토지이용현황을 고려하여 5~20 m 간격으로 8방위 또는 갈지자형 시료채취법에 따라 총 10개 지점을 선정한다.



8방위 시료채취법



갈지자형 시료채취법

5) 세척과정은 공기 흡입방식과 물에 씻은 공이 또는 형점으로 세척 작업을 병행한다. 물로 세척하는 경우에는 물에서 석면을 제거하는 시설 또는 장치를 갖추어야 한다.

5.2.4.2 토양시료 채취시 각 채취지점별로 토양표면(0 ~ 30 cm 심도)의 토양을 19 mm 체 등으로 잡초 및 돌 등 큰 이물질을 제거한 후 토양시료채취기로 약 0.5 kg씩 채취한다. 다만, 토양시료채취기가 없을 때는 모종삽 또는 삽 등과 같은 기구를 사용할 수 있다. 채취한 토양시료를 4분법 등을 이용하여 최대한 고르게 10회 이상 혼합하여 균질화한 후 이 중 약 500 g을 분취하여 시료용기에 넣어 보관한다.

5.2.5 시료의 보관

5.2.5.1 채취 시료는 수분 등의 영향으로 재질의 변화가 일어나지 않도록 고온다습한 곳을 피하고 상온에서 보관한다.

5.2.5.2 채취 시료는 공기 중으로 비산되지 않도록 밀폐용기 또는 헤파필터가 장착된 후드 안에서 보관한다.

5.2.5.3 시료는 가급적 지정된 장소에 보관한다.

5.2.6 시료의 폐기

5.2.6.1 실험실에서 폐기되는 석면 함유토양이나 석면으로 오염된 폐기물은 별도의 장소에 모아 폐기한다.

5.2.6.2 석면 폐기물은 처리량을 고려하여 주기적으로 처리한다.

6.0 정도보증/정도관리(QA/QC)

6.1 교육

분석 담당자에 대한 정기적인 교육이나 관련 정보교환 활동을 통해 석면에 대한 지식과 경험을 쌓도록 한다.

6.2 시험 기기, 기구 및 시약의 관리

6.2.1 시험 기기의 관리

현미경을 사용하기 전에 현미경 일치성 확인을 해야 한다. 이는 1) 하부 편광판과 상부 편광판의 90도 일치, 2) 십자선의 일치, 3) 보정판의 진동방향의 적절한 일치, 4) 조리개안에서 시료의 상과 중심 초점과의 일치, 5) 중심조정 등이 있다.

6.2.2 현미경과 부속품

현미경과 부속품은 최소 1년에 1회 이상 광원의 밝기, 집광장치, 배율 등의 전문적인 기술 서비스를 받아 전체적으로 청소를 하고 재조정이 필요하다.

6.2.3 시험 기구의 관리

석면분석 전 사용되는 분석기구, 분석 장비에 대한 오염여부를 수시로 점검한다. 슬라이드와 커버글라스를 렌즈티슈로 닦고, 핀셋, 막자, 막자사발, 집게 등의 석면

오염을 확인하여 분석일지에 그 결과를 기록한다.

6.2.4 시험 시약의 관리

굴절률 시약은 굴절률 측정기 등을 이용하여 주기적으로 그 굴절률을 확인하여 기록한다.

6.3 내부 정도관리

6.3.1 정성분석

석면분석자는 편광현미경과 입체현미경을 사용하여 6가지 종류의 석면을 정확히 구분할 수 있어야 한다. 분석자는 6가지 종류의 표준시료를 최소 1년 주기로 분석한다.

6.3.2 정량분석

정량분석은 점계수법(point counting)을 사용하여 정량한다.

6.4 외부 정도관리

인증된 다른 석면분석기관 간의 교류를 통하여 서로 간의 분석능력을 확인하고 검증하며 분석역량을 유지·개발한다.

7.0 분석절차

7.1 시료 전처리

7.1.1 건조

7.1.1.1 채취한 시료는 2mm 이상의 돌, 나무 등의 험잡물을 제거한다. 이때 제거되는 물질에 포함되는 토양시료의 양이 최소화되도록 주의한다.

7.1.1.2 채취한 시료는 조제하기 전 수분흡수와 오염의 위험성이 없는 넓은 용기에 5 cm 이하의 두께로 토양시료를 고르게 편 후 가열등, 가열판, 건조기 등을 사용하여 100±5℃에서 토양시료의 총 무게손실이 24시간 동안 5%(질량기준)이하 일 때까지 건조하거나, 시료 중 셀룰로오스 및 합성 고분자물질 등 유기결합재가 많을 경우 약 450℃에서 6시간 정도 가열한다.

7.1.1.3 건조하는 동안 큰 덩어리(15 mm 이상)는 오염에 주의하면서 나무망치나 막자 등을 이용하여 손으로 가볍게 분쇄하는 것이 좋다. 모든 건조과정은 안전하게 해파필터가 장착된 후드 내에서 수행한다.

7.1.2 체가름

7.1.2.1 건조과정이 끝난 토양시료 약 300 g을 분취한 다음, 2 mm(KS 8호)체, 75 μm(KS 200호)체를 사용하여 5분 이상 통과시킨 후 각 체에 남아있는 토양과 최종

체가름 후 토양의 무게를 각각 잰다. 이때, 75 μm (KS 200호)체를 통과한 토양은 비산성 석면시료(a_0)로 구분하여 분리한다.

7.1.2.2 75 μm 체위에 남아 있는 체잔류물이 10% 이하가 될 때 까지 막자사발과 막자, 분쇄기 등을 이용하여 분쇄한 후 체를 통과한 토양을 잠재성 석면시료(a_1)로 한다. 모든 체가름과정은 안전하게 헤파필터가 장착된 후드 내에서 수행한다.

7.1.2.3 잠재성 시료와 비산성시료는 편광현미경을 이용하여 점계수법으로 분석한다.

7.1.3 굴절시약 처리

7.1.3.1 슬라이드 유리 위에 굴절시약 1~3 방울을 떨어뜨린 후, 토양시료 약 5 mg 을 슬라이드 유리 위 굴절시약에 담그고 바늘, 핀셋 등으로 시료를 적절히 분산시켜 슬라이드 유리 위에 고르고 평평하게 배치시킨다.

7.1.3.2 굴절시약에 완전하게 담긴 시료가 있는 슬라이드 유리 위에 커버 유리로 덮고, 커버 유리를 핀셋이나 고무 등으로 살짝 눌러주어 공극을 제거한다.

7.1.3.3 시료를 전처리할 때는 시료가 너무 적어 함유량 분석에 지장을 주거나 너무 많은 시료를 전처리하여 정성분석 할 때 방해물을 주지 않도록 하며, 커버 글라스 전체 면적의 20% 내외의 빈 공간이 생기도록 하는 것이 좋다.

7.2 정성평가

7.2.1 석면의 정성분석은 시험물질의 형태, 굴절률, 다색성(pleochroism), 색깔, 복굴절률(birefringence), 소광특성(extinction), 신장을 부호(sign of elongation), 분산염색(dispersion staining color) 등 섬유나 광물의 광학 특성을 분석하여 석면의 정성 분석이 이루어진다. [표 1]과 같이 시료의 굴절률, 형태 등의 점검표를 작성하여 시료별 석면 종류를 판단한다.

7.2.2 시료를 1.550 굴절시약으로 처리하고 개방니콜 또는 직교니콜 상태로 반복하면서 시료를 확인하고, 재물대를 회전하며 섬유형태를 면밀히 관찰한다. 만일 석면의 특성과 유사한 섬유가 발견되지 않는다면 석면이 없는 것으로 판단한다.

7.2.3 섬유를 발견하면, 직교니콜상태로 하여 섬유의 특성이 등방성(isotropic)인지 이방성(anisotropic)인지를 확인한다. 만일 모든 섬유가 등방성이고 추가한 전처리 시료도 등방성이면 석면이 없는 것으로 판정한다.

7.2.4 섬유가 이방성이면 재물대를 회전시켜 소광각(angle of extinction)을 측정하여 기록하고 표 2를 참조해 판정한다.

7.2.5 현미경에 석고 검판(gypsum plate)을 삽입한 다음 신장을 부호를 측정한다.

청석면을 제외한 모든 종류의 석면섬유는 양(+)의 부호를 갖으며 음(-)의 부호를 가진 경우는 7.2.8의 단계로 가서 분석한다.

7.2.6 석고 검판(gypsum plate)을 제거하고, 개방니콜에서 섬유-굴절액의 경계선에서 청색과 금갈색의 벡케선의 색(Becke color)을 관찰한다.

7.2.7 백석면의 확인

7.2.7.1 백석면의 특징인 꼬임과 굴곡을 가진 다발 모양 등 섬유 형태를 관찰한다. 단, 꼬임이 있되 리본 모양의 형태를 가진 섬유는 셀룰로오스 섬유일 수 있다. 이때는 섬유의 굴절률이 정확히 1.550 인지를 보기 위해 벡케선의 이동을 관찰할 필요가 있다. 만약 섬유가 더 높은 굴절률을 보이면 7.2.10의 방법으로 분석하고 그렇지 않으면 다음 단계로 넘어간다.

7.2.7.2 백석면을 확인하기 위해 분산염색용 대물렌즈를 끼우고 청색과 청-자홍색을 관찰한다. 이 검사로 백석면이 확인되면 정량은 7.3.1의 분석방법에 따른다.

7.2.8 청석면의 확인

7.2.8.1 청석면을 확인하기 위해 시료를 1.680 굴절시약으로 처리하고 청석면의 형태를 관찰한다. 그 형태는 곧고, 강직한 모양으로 분산염색은 가로방향($n_{\parallel}$)에서 황금색을 띠고 세로방향($n_{\perp}$)에서는 연한 노란색을 나타낸다. 이 검사로 청석면이 확인되면 정량은 7.3.1의 분석방법에 따른다.

7.2.8.2 청석면을 확인하기 위해 시료를 1.700 굴절시약으로 처리하고 청석면의 형태를 관찰한다. 그 형태는 곧고, 강직한 모양으로 청색 또는 자청색을 띤다. 다색성을 나타내어 회전각도에 따라 파란색 또는 회색빛을 띠고 분산염색용 대물렌즈를 끼우고 관찰하면 붉은 자홍색과 파란 자홍색을 나타낸다. 이 검사로 청석면이 확인되면 정량은 7.3.1의 분석방법에 따른다.

7.2.9 갈석면의 확인

갈석면을 확인하기 위해 시료를 1.680 굴절시약으로 처리하고 갈석면의 형태를 관찰한다. 갈석면은 곧은 섬유와 빗자루 같은 섬유다발이거나 끝이 벌어진 모양이며 분산염색은 커밍토나이트(cummingtonite) 형태는 연한 청색과 청색을 나타내며, 그루네라이트(grunerite) 형태는 청색과 황금색을 띤다. 이 검사로 갈석면이 확인되면 정량은 7.3.1의 분석방법에 따른다.

7.2.10 안소필라이트-트레모라이트-악티노라이트의 확인

7.2.10.1 안소필라이트-트레모라이트-악티노라이트를 확인하기 위해 1.605 굴절시약을 준비하고 안소필라이트-트레모라이트-악티노라이트의 형태를 관찰한다. 이 섬유

들의 굴절률은 같은 종 내에서도 다르며, 안소필라이트는 거의 평행소광을 보이므로, 이 특성을 이용해 트레모라이트와 악티노라이트의 구별이 가능하다. 세 섬유 모두 곧으며 쪼개지기도 한다.

7.2.10.2 분산염색의 대물렌즈를 이용하여 관찰할 경우 안소필라이트는 청색과 황금색·금빛 자홍색을 나타낸다.

7.2.10.3 트레모라이트는 연한 청색과 노란색을 나타낸다.

7.2.10.4 악티노라이트는 개방니콜 하에서 밝은 녹색에서 어두운 녹색을 띠며 약간의 다색성을 보인다. 악티노라이트의 분산염색은 노란색과 연한 노랑을 나타낸다.

7.2.11 규회석⁶⁾과 안소필라이트의 비교

규회석과 안소필라이트와의 비교를 위해서 시료를 굴절시약 처리 전에 진한 염산으로 시료가 있는 슬라이드에 떨어뜨려 전처리하고 커버슬라이드를 덮고, 전열기 위에서 따뜻하게 하여 건조시킨다. 모세관 현상을 이용하여, 커버글라스 밑에 1.620 굴절시약을 넣고 편광현미경으로 관찰하면, 규회석은 "음영교차(cross-hatched)" 형태를 띠고 분산염색을 보이지 않는 반면 트레모라이트와 안소필라이트는 분산염색을 나타낸다.

7.3 정량평가

7.3.1 편광현미경을 이용한 점계수법(point counting)

7.3.1.1 "석면 섬유"는 장단비가 3:1 이상을 지닌 광물질의 섬유를 말하며, 석면의 계수(counting)는 길이 5 μm 이상이고, 폭 3 μm 이하 인 것으로 한다.

7.3.1.2 토양 중 석면 정량을 위한 점계수법은 총 400지점을 계수하는 것으로 하나의 시료에 대해 적어도 8개의 슬라이드를 필요로 한다. 이는 1개의 슬라이드에서 50지점씩 계수하는 것을 의미한다.

7.3.1.3 토양 중 석면 정량은 점계수법에 따라 수행하되 다음의 절차에 따른다.

7.3.1.3.1 각각의 섬유위에 직접 위치하고 있는 지점수를 기록한다.

7.3.1.3.2 만일 같은 섬유에 두 지점이 중복되어 위치하면 한 지점으로 기록한다.

7.3.1.3.3 섬유의 가장자리에 위치하고 있는 지점수를 기록한다.

7.3.1.3.4 만일 석면 섬유와 토양입자가 겹치면, 한 지점은 양쪽 범주에 저장된다.

7.3.1.3.5 만일 시험된 지점의 구조가 다음의 예와 같이 모호한 경우, 석면이 없는 것으로 기록한다.

- 분산염색의 관찰이 어려운 섬유

6) 규회석(wollastonite)은 안소필라이트와 거의 비슷한 성질을 가지고 있어 분석할 때 주의해야 한다.

- 크기가 너무 작아서 구분이 힘든 구조

7.3.1.3.6 섬유매트 혹은 다발은 하나의 섬유로 계수한다.

7.3.1.3.7 비산성 석면으로 계수된 석면은 현미경 배율을 400×으로 하여 폭과 길이를 측정한 다음 석면 수를 기록한다.

7.3.1.4 정량은 현미경 배율을 100×으로 하여 평가한다.

7.3.1.5 계수를 위해 상용화된 100지점 십자선, 25지점 십자선 또는 표준 십자선 등을 사용할 수 있으며, 100지점 십자선 또는 25지점 십자선을 사용하는 경우 무작위로 선택된 최소 2개 필드 내에서 25개 지점을 계수하는 방법을 이용한다. 표준 십자선을 사용하는 경우 선택영역에서 임의로 최소한 50개 지점을 계수한다.

7.3.2 계산

7.3.2.1 비산성 석면의 함량(%)은 다음 식에 의해 계산된다.

$$\text{비산성 석면(\%)} = \left(\frac{a_0}{n} \right) \times 100$$

a_0 =75 μm 체를 통과한 시료에서 계수된 석면 수

n =계수된 비어있지 않은 지점수(400)

a_0 =0인 경우는 "0.25 % 미만"으로 한다.

7.3.2.2 잠재성 석면의 함량(%)은 다음 식에 의해 계산된다.

$$\text{잠재성 석면(\%)} = \left(\frac{a_1}{n} \right) \times 100$$

a_1 =75 μm 체 위에 남아있는 토양을 분쇄한 후 최종 통과한 시료에서 계수된 석면 수

n =계수된 비어있지 않은 지점수(400)

a_1 =0인 경우는 "0.25 % 미만"으로 한다.

7.4 투과전자현미경 분석

편광현미경 분석결과 석면의 함량이 불검출인 시료에 대하여 필요한 경우 투과전자현미경 분석을 실시할 수 있다.

7.4.1 시편 전처리

7.4.1.1 체가름을 통해 구분되어 나온 단계별 토양입자크기 중 75 μm 미만을 시편으로 제작한다.

7.4.1.2 토양시료 100 mg~200 mg을 칭량하여 증류수에 넣어 100 mL 용액을 만든다.

7.4.1.3 교반기를 이용하여 5분간 토양시료가 골고루 분산될 수 있도록 교반 후 30 초 간 큰 입자들을 침강하게 한 후 용기의 중간지점에서 여과지의 크기에 따라 시료가 그리드 면적의 20% 내외로 분포하도록 1 mL 또는 10 mL를 분취한 다음 MCE 필터(D 25 mm 또는 47 mm, pore size 0.45 μ m)로 여과한다.

7.4.1.4 여과된 필터는 데시케이터 안에서 48시간 건조한다.

7.4.2 필터를 이용한 시편제작

7.4.2.1 여과된 필터를 1/4로 절개하고 투명화 용액(dimethylformamide 35 mL + glacial acetic acid 15 mL + Water 50 mL)으로 투명화한다.

7.4.2.2 플라즈마 회화장치(Plasma Asher, EMITECHK1050K, KENT, United Kingdom)를 이용하여 필터표면 두께의 약 10%를 에칭(etching)처리한다.

7.4.2.3 탄소 코팅기(Carbon Coater)로 코팅하여 Grid에 정착시킨 후 포화용액(dimethylformamide 50% + acetone 50%)이 든 Jaffe washer로 필터를 녹인 다음 건조한다.

7.4.3 드롭 마운트 스크리닝

7.4.3.1 필터를 이용한 분석이 원활하지 않은 경우 드롭 마운트 스크리닝 방법을 이용하여 투과현미경 분석을 실시할 수 있다.

7.4.3.2 신틸레이션 바이알(Scintillation vial) 또는 이와 동등한 것에 약 20~100 mg의 토양시료를 넣고 2~5 mL의 에탄올 또는 기타 알코올을 추가하여 현탁시킨 다음, 현탁액을 3분 동안 초음파처리한다.

7.4.3.3 현탁액을 흔들면서 바로 3 μ L 분취량을 추출하여 탄소 코팅된 그리드에 떨어뜨린 다음 건조시킨 후, 두 번째 분취량도 이 과정을 반복한다. 같은 방법으로 또 다른 그리드(직경 3 mm, 200 메쉬)를 만든다.

7.4.3.3 건조되는 동안 드롭이 그리드 안에서 비활성상태로 그리드 표면을 벗어나지 않도록 한다.

7.4.4 정성·정량 분석

7.4.4.1 석면으로 분류되는 섬유상광물은 길이 대 지름 비(aspect ratio)가 3:1 이상인 것을 대상으로 한다. 이는 위상차현미경을 이용한 공기 중 석면 계수기준과 일관성을 유지하기 위함이다.

7.4.4.2 투과전자현미경에 의한 석면의 계수는 길이 5 μ m 이상, 폭 0.25 ~ 3 μ m 인 것을 대상으로 한다.

7.4.4.3 기타 정성분석에 대한 세부사항은 다음 각 호의 방법을 준용한다.

1. 미국 재료시험학회(American Society for Testing Materials) ASTM D7521-16 Standard Test Method for Determination of Asbestos in Soil(ASTM International, 2016)
2. 국제표준기구(International Standard Organization) 시험법 : ISO 22262-1 Air quality-Bulk materials-Part 1 (Sampling and qualitative determination of asbestos in commercial bulk materials, 2012)
3. 제1호와 동등하게 투과전자현미경을 이용한 석면 분석방법을 제시하는 미국 환경청(US EPA), 미국 국립산업안전보건연구원(NIOSH) 등의 석면 정성 분석방법

7.4.4.4 기타 정량분석에 대한 세부사항은 다음 각 호의 방법을 준용한다.

1. 미국 재료시험학회(American Society for Testing Materials) ASTM D7521-16 Standard Test Method for Determination of Asbestos in Soil(ASTM International, 2016)
2. 국제표준기구(International Standard Organization) 시험법 : ISO 22262-2 Air quality-Bulk materials-Part 2 (Quantative determination of asbestos by gravimetric and microscopical methods, 2014)
3. 그 외 국제적으로 통용되는 투과전자현미경을 이용한 석면 정량 분석방법

7.4.4.5 석면섬유의 농도는 계수기준에서 섬유(Fiber, Cluster Fiber, Matrix Fiber 등)에 해당하는 계수결과를 이용하여 산정한다.

7.4.4.6 토양시료에서 투과전자현미경으로 분석된 석면의 농도는 다음 식을 이용하여 산정할 수 있다.

$$C_s = \frac{A_e \times S_e \times V_s}{G_n \times G_a \times V_f \times S_s}$$

여기서, C_s : 토양 중 석면 농도(f/μg)

A_e : 포집여과지 유효 면적, mm²

S_a : 석면 섬유(F, CF, MF 등) 수

G_n : 계수 그리드(grid opening) 수

G_a : 평균 그리드면적, mm²

V_s : 현탁액량(mL)

V_f : 여과분취량(mL)

S_s : 토양시료량(μg)

8.0 결과보고

8.1 정성 분석

편광현미경으로 시료를 관찰하여 [서식 1]의 양식으로 기록하여 석면의 종류를 확인한다.

8.2 정량 분석

편광현미경으로 토양시료를 관찰 후 석면함량(%)을 기록하고 검출된 석면은 사진 촬영 한다.[서식 3]

표 1. 석면의 모양과 굴절특성

석면의 종류	형태와 색상	굴절률(근사값)		복 굴절률
		신장율 (상한)	신장율 (하한)	
백석면 (Chrysotile)	- 꼬인 물결 모양의 섬유 - 다발의 끝은 분산 - 가열되면 무색~밝은 갈색 - 다색성 - 종횡비는 전형적으로 10:1 이상	1.54	1.55	0.002~ 0.014
안소필라이트 (Anthophyllite)	- 곧은 섬유와 섬유 다발 - 절단된 파편 존재 - 무색~밝은 갈색 - 비다색성 내지 약한 다색성 - 종횡비는 일반적으로 10:1 이하	1.61	1.63	0.019~ 0.024
트레모라이트 (Tremolite)	- 곧고 흰 섬유 - 절단된 파편이 일반적이며 큰 섬유 다발 끝은 분산된 모양 - 트레모라이트는 무색 - 악티노라이트는 녹색~약한 다색성 - 종횡비는 일반적으로 10:1 이하	1.60 ~1.62	1.62 ~1.64	0.02~ 0.03
악티노라이트 (Actinolite)		1.62 ~1.67	1.64 ~1.68	
갈석면 (Amosite)	- 곧은 섬유와 섬유 다발 - 다발 끝은 빗자루 같거나 분산된 모양 - 가열하면 무색~갈색 - 약한 다색성 - 종횡비는 전형적으로 10:1 이상	1.67	1.70	0.02~ 0.03
청석면 (Crocidolite)	- 곧은 섬유와 섬유 다발 - 긴 섬유는 만곡 - 다발 끝은 분산된 모양 - 특징적인 청색과 다색성 - 종횡비는 전형적으로 10:1 이상	1.71	1.70	0.014~ 0.016

표 2. 석면의 모양과 굴절특성

석면의 종류	소광특성	신장율 부호	분산열색		
			RI 용액	색상	
				$n_{\perp}$	$n_{\parallel}$
백석면 (Chrysotile)	섬유길이에 평행	+	1.550 ^{HD}	청색	청-자홍색 (blue magenta)
안소필라이트 (Anthophyllite)	섬유길이에 평행	+	1.605 ^{HD}	청색	황금색에서 황금자홍색 (gold to gold magenta)
			1.620 ^{HD}	청녹색	황금색
트레모라이트 (Tremolite)- 악티노라이트 (Actinolite)	파편은 사소광(oblique) (10 ~ 20°) 일부섬유는 소광을 보임	+	1.605 ^{HD}	연한청색	노란색
			1.605 ^{HD}	노란색	연한 노란색
갈석면 (Amosite)	섬유길이에 평행	+	1.680	파란 자홍색에서 연한청색 (blue magenta to pale blue)	황금색
청석면 (Crocidolite)	섬유길이에 평행	-	1.700	붉은 자홍색 (red magenta)	파란 자홍색 (blue magenta)
			1.680	황금색 (golden yellow)	연한 노란색

HD = 높은 분산, RI 액체의 시리즈

Ⅲ. 수질(먹는물)편

1.0 개요

1.1 목적

음용지하수 중 석면의 특성을 관찰하여 정성과 정량분석을 하기 위한 것이다.

1.2 적용범위

수질(먹는물)시료 중의 석면분석에 사용되며 투과전자현미경으로 판단할 수 있는 석면의 정량범위는 길이가 10 μm 를 초과하는 석면이고 허용가능 바탕시료의 범위는 0.01 MFL 이하이다.

2.0 용어 정의

2.1 "석면상(Asbestiform)"이라 함은 같은 광물의 다른 정벽(habit)들 보다 높은 유연성과 강한 장력을 가진 섬유 정벽의 특정 형태를 말한다.

2.2 "석면(Asbestos)"이라 함은 수화물 상태의 규산염 광물(hydrated mineral silicates) 그룹의 명칭이다.

2.3 "종횡비(Aspect Ratio)라 함은 섬유 미립입자의 직경에 대한 길이의 비를 말한다.

2.4 "다발(Bundle)"이라 함은 3개 이상의 섬유들이 평행하게 배열되어 있는 구조로서, 각각의 섬유들 사이의 틈이 1직경 이하로 떨어져 있는 구조이다.

2.5 "클러스터(Cluster)"라 함은 모든 섬유들이 서로 섞여 있으며 단 하나의 섬유도 그 그룹에서 고립되지 않고, 모든 섬유들이 서로 섞여 무작위 배열된 섬유형태를 이루고 있는 구조이다.

2.6 "EDXA"라 함은 에너지 분산 X선 분석(Energy dispersive X-ray analysis)을 말한다.

2.7 "섬유(Fiber)"라 함은 본 실험법의 목적상, 최소 10 μm 이상의 길이를 가지며 장단비(직경에 대한 길이의 비)가 3:1 혹은 이상의 구조를 가진 것이다.

2.8 "소섬유(Fibril)"라 함은 섬유의 특성을 잃지 않고서는 세분될 수 없는, 섬유다발(bundle)에서 분리될 수 있는 가장 작은 결정질 섬유를 말한다.

2.9 "격자(Grid)"라 함은 TEM에서 관찰용 carbon extraction replica를 얹는 직경 3 mm의 200 mesh 구리 격자를 말한다.

2.10 "교차(Intersection)"라 함은 장단비가 3:1보다 큰 장단비의 투과를 가지는 섬유의 비평행 접촉 혹은 교차를 말한다.

2.11 "매질(Matrix)"이라 함은 섬유 혹은 섬유들의 한쪽 끝은 자유로우나 다른 한쪽

끝은 입자에 의해 가려져 있거나, 혹은 내부에 박혀있는 섬유 혹은 섬유들을 말한다.

2.12 "MFL"이라 함은 리터 당 100만 섬유(Million fibers per liter)이다.

2.13 "SAED(또는 ED)"이라 함은 제한시야 전자 회절(Selected area electron diffraction)을 말한다.

2.14 "구조(Structure)"라 함은 석면을 포함할 수 있는 현미경상의 다발(bundle), 클러스터(cluster), 섬유(fiber), 혹은 매트릭스(matrix)을 나타낸다.

2.15 "TEM(Transmission Electron Microscope)"이라 함은 투과전자현미경을 말한다.

3.0 분석장비 및 기구

3.1 투과전자현미경 : 반드시 EDXA를 갖추고 있어야 하며 교차점에서 탐침크기 (spot size)를 직경이 250 nm 이하로 줄일 수 있어야 한다.

3.1.1 EDXA : 에너지 분산 X선 분석기(Energy dispersive X-ray analyzer)

3.2 회전시편대를 가진 고진공 탄소 증착기

3.3 양의 압력을 가진 헤파필터 후드

3.4 흡후드

3.5 탁상용 저파워 초음파 배스(Ultrasonic bath)

3.6 오존 생성기 : 중량의 1%의 농도에서 하루 당 최소 400 g의 오존을 생산할 수 있는 것

3.7 석영 피펫

3.8 수중사용이 가능한 UV 램프 : 파장 254 nm

3.9 방수마커

3.10 핀셋(쪽집게), 일회용 유리

3.11 눈금 있는(Graduated) 피펫 : 1, 5, 10 mL 일회용 유리

3.12 유리 혹은 일회용 플라스틱 여과기 : 직경 25 또는 47 mm의 필터사용

3.13 진공 여과 플라스크 : 1,000 mL 측면 진공 흡입구

3.14 혼합 셀룰로스 에스테르(MCE) 막여과필터 : 직경 25 또는 47 mm(공극크기가 0.22 μm 와 5.0 μm 이하인 것)

3.15 일회용 페트리 접시 : 여과한 MCE막필터 보관용

3.16 현미경용 유리슬라이드

3.17 유선형 스켈렐 칼

3.18 저온 오븐 혹은 캐비넷형의 데시케이터

3.19 저온 플라즈마 회화기(asher)

3.20 Jaffe 세척기

3.21 200 mesh 구리로 된 TEM용 미세 격자

3.22 탄소봉

3.23 유리 혹은 폴리에틸렌 시료병 : 스크류식회전식 마개덮개가 있는 1,000 mL 용량의 것

4.0 시약 및 표준시료

4.1 시약

4.1.1 아세톤

4.1.2 Dimethylformamide (DMF)

4.1.3 빙초산(Glacial acetic acid)

4.1.4 Chloroform

4.1.5 1-methyl-2-pyrrolidone(1-methyl-2-pyrrolidinone 혹은 n-methyl-2-pyrrolidone) : CAS No. 872-50-4

4.2 석면 표준 시료(Standard reference material)⁷⁾

순수한 석면 또는 농도가 명시된 시판용 표준시료

5.0 시료채취 및 관리

5.1 안전사항

5.1.1 시료의 여과는 준비된 시료의 오염가능성을 피하기 위하여 깨끗한 헤파필터로 된 양의 압력을 가진 후드에서 수행되어야 한다.

5.1.2 필터의 폐기는 배기후드 내에서 수행되어야만 한다.

5.2 시료의 채취

5.2.1 채수병의 준비

5.2.1.1 물 시료는 1 L 유리 혹은 폴리에틸렌 병에 채수하되, 이 채수병은 한번도 사용되지 않은, 깨끗한, 회전식 마개가 있는 것이어야 한다. 허용가능한 채수병의 바탕시료 수준은 10 μ m 초과하는 석면섬유가 0.01 MFL 이하이다. 약 800 mL의 시료 2점을 각 지점에서 채수해야만 하며 시료채취 도중에는 어떠한 보존제도 첨가되어서는 안 된다.

7) NIST(National Institute of Standards and Technology)의 1866b, 1867a 등

5.2.1.2 사용 전에 석면이 없는 물(Fiber-free water)로 약 1/3을 채운 뒤, 30초 동안 흔들어서 두 번 세척하고, 석면이 없는 물로 완전히 채운 뒤 15분간 초음파 세척 후 사용한다.

5.2.2 바탕시료(blank) 준비

5.2.2.1 폴리에틸렌 병 사용 시, 배치 당 한개 혹은 각 24개의 병당 최소 한 병이 배경 농도 측정용으로 사용한다. 유리병을 사용할 경우, 각 24개 중 4개의 병에 대한 배경농도 시험을 수행한다. 채취된 시료들이 매우 낮은 농도의 석면을 함유하는 것으로 보이거나 추가적인 신뢰도 확보가 필요할 때, 추가적인 바탕시료를 준비한다. 허용가능한 배경농도 수준은 10 μ m 초과하는 석면섬유가 0.01 MFL 이하이다.

5.2.3 시료 채취

5.2.3.1 일반적인 물시료 채취방법이 적용되나, 대규모 저장 급수시설(bulk storage supply)에서는 석면입자크기의 수직적인 분포가 있을 수 있다. 만약 이들 급수시설에서 대표시료를 채취하는 경우, 수평적인 분포뿐만 아니라 수직적인 분포를 대표할 수 있도록 여러 개의 시료가 채취되어야 한다. 이후 분석을 위해 시료를 혼합하되 혼합은 현장에서는 진행할 수 없으며, 실험실 내에서 수행하여야 한다.

5.2.3.2 급수 시설(distribution system)의 경우, 수도꼭지의 호스를 제거한 뒤 장시간 배수 후 채수해야 한다. 대부분 급수 시설이 있는 건물들의 경우, 장시간 배수 한 후 수도꼭지에서 나오는 물이 신선한 물인지 알기 위해서 수온의 변화로 확인할 수 있다. 수도꼭지 혹은 밸브는 모든 시료들이 수집되기 전까지는 조정하지 않도록 하며, 급수 시설의 마지막 끝에 있는 다른 수도꼭지들이나 소화전에서 시료를 취하지 않도록 한다.

5.2.4 시료의 양

5.2.4.1 각각의 지점에서 적어도 800 mL정도의 시료 2점을 각각 채취하며 시료채취 도중 보존제의 첨가를 하지 않는다. 이정도 부피로 시료를 채취하면 시료병 내에 공간이 남게 되는데 이는 분석전에 흔들어서 침전된 물질을 효과적으로 분산시키기 위함이다. 각각의 시료채취 병은 날짜, 시간, 장소, 시료번호, 채취자 이름 등을 방수 마커를 사용하여 표기한다.

5.3 시료의 관리

5.3.1 시료 이송

5.3.1.1 시료들은 채취 후 용기에 담아 밀봉하여 가능한 한 빨리 실험실로 운반한다. 시료 내 이끼나 박테리아의 번식을 막기 위하여 얼음과 함께 냉장용기 혹은 이에 준하는 장비에 보관하여 운반하되 시료가 얼지 않도록 한다. 시료는 48시간 이내에

실험실에 도착하여 여과한다.

5.3.2 시료 보관

5.3.2.1 시료는 실험실에 도착한 즉시 여과하거나 그렇지 않으면 여과하기 전까지 4℃가 유지되는 냉장용기 혹은 이에 준하는 장비에 넣어 보관한다.

5.3.2.1 만약 채취된 시료를 48시간 내에 여과할 수 없는 경우, 시료가 담긴 용기를 UV 오존처리와 초음파처리를 하여야 한다.

5.3.3 시료의 혼합

5.3.3.1 실험실에 도착한 후 시료는 최대 5개까지 혼합할 수 있다. 혼합 시료는 시료 채취 후 48시간 이내의 개별 시료로부터 준비되어야 하며, 48시간이 경과한 시료는 원래의 용기 내에서 O3-UV로 개별적으로 처리해야 한다. 이 시료들은 원래의 용기 내에서 초음파 처리한 후 분취하여 혼합시료를 만든다. 최대농도수준(MCL)의 1/5을 초과하는(> 10 µm보다 긴 섬유가 1.4 MFL) 혼합시료의 경우, 각각의 시료를 여과하는 것이 좋다. 만약 이후에 원시료들을 개별적으로 여과해야 한다면, 그 시료들은 또 다시 원래 용기내에서 O3-UV 및 초음파 처리해야 한다.

6.0 분석절차

6.1 시료 전처리

6.1.1 초음파 처리

6.1.1.1 시료의 초음파 처리는 최장 15분을 넘어서는 안 된다.

6.1.1.2 초음파 처리의 실제 시작시간과 종결시간을 기록한다.

6.1.2 여과

6.1.2.1 여과할 시료의 부피는 시료 중 총부유고형분의 양과 석면의 농도, 여과장치의 직경에 따라 달라진다.

6.1.2.2 적절한 필터 시료는 일반적으로 표면에 희미한 색을 띤다.

6.1.2.3 먹는물 분석의 경우 25mm 필터는 최소 10 mL, 47mm 필터는 최소 50 mL를 여과해야 한다. 시료는 여과 전에 격렬하게 흔들어 완전히 혼합되도록 하고 분취시료의 양은 최소 1 mL 이상이어야 한다.

6.1.2.4 시료의 탁도가 높아 1 mL 이하의 시료를 여과해야 하는 경우에는 단계적으로 희석한다.

6.1.2.5 여과장치는 상용화된 1회용 여과장치 또는 다회용 여과장치를 사용한다.

6.1.2.6 여과장치는 미리 석면이 없는 물로 적신 25 mm 또는 47 mm 여과기 위에

5.0 μm MCE 필터를 놓고 이 위에 0.22 μm MCE 필터를 올려 놓은 후 여과기를 결합한다.

6.1.2.7 시료를 여과장치에 첨가한 후 흡입한다.

6.1.2.8 여과기의 측면은 세척하지 말고 필터 상에 쌓인 입자들을 교란시킬 수 있는 다른 인위적인 것은 피해야한다.

6.1.2.9 여과장치를 분해 후 0.22 μm MCE 필터를 깨끗한 페트리 접시로 옮긴다.

6.1.2.10 페트리 접시의 뚜껑을 약간 열리도록 헐겁게 덮은 후, 클린 벤치 내에서 윗부분을 건조시킨다.

6.2 분석

6.2.1 격자준비

6.2.1.1 관찰 위치를 확인할 수 있도록 표기가 된 석면 색인 찾기 격자를 분석에 사용한다.

6.2.1.2 격자가 분석에 적합한 상태인지 확인하기 위하여 고배율에서 저배율($<1000\times$)로 시험한다.

6.2.1.3 만약 격자가 다음과 같은 상태이면 폐기한다.

- 섬유가 너무 많아서 정확한 계수가 어려운 경우(격자 당 50개 이상의 섬유가 있는 경우);
- 쌓여있는 섬유들의 전체적인 분포가 눈에 띄게 불균질한 경우;
- 섬유가 너무 많아서 SAED와 EDXA로 개별입자의 분석이 어려운 경우;
- 대부분 격자의 탄소막 대부분이 부러졌거나 혹은 접혀져 탄소막으로 되어 있는 경우.

6.2.2 섬유 계수 절차

6.2.2.1 전형적인 격자들 가운데서 하나 선택한다.

6.2.2.2 약 10~20,000배로 확대하여 스크린 중심의 형상이 중심점(eucentric point)에 있게 될 때까지 시료의 높이를 조정한다.

6.2.2.3 고니오미터의 경사는 0도로 조정한 후, 격자(Grid opening)의 왼쪽 최상단에서 부터 동쪽/서쪽 또는 남쪽/북쪽 방향으로 훑어가며, 격자(Grid opening) 전체를 다 검사한다.

6.2.2.4 섬유가 검출되었을 때, 직경과 길이를 스크린상에서 mm단위로 측정하며 최소 4개의 격자(open grid)를 검사한다.

6.2.2.5 섬유 계수는 분석 민감도(analytical sensitivity)가 0.2 MFL이 되었을 경우

나, 적어도 시료 당 세 개의 격자를 사용하여 길이가 10 μm 이상인 100번째 석면 섬유를 포함할 때 종료한다.

6.2.3 석면확인절차

6.2.3.1 석면으로 의심되는 섬유는 검경창에 들어왔을 때 형태적으로 확인된다.

6.2.3.2 석면섬유의 크기는 단위가 표시된 원형 스케일을 사용함으로써 알 수 있다.

6.2.3.3 섬유는 중심에 초점이 맞추어지며 SAED 패턴은 현미경으로 볼 수 있는 구경을 사용함으로써 분석할 수 있다.

6.2.3.4 SAED 패턴을 육안으로 조사하여 섬유를 4개의 범주 가운데 하나로 분류한다; (1) 백석면, (2) 각섬석 그룹(갈석면, 청석면, 안소필라이트, 트레모라이트 및 악티놀라이트를 포함), (3) 모호함(불완전 점 패턴), (4) 비석면

6.2.3.5 시각적 동정을 시도하여 시료에서 발견된 석면으로 의심되는 각각의 구조들을 기록한다.

6.2.3.6 석면 섬유에서 생성되는 화학조성을 알 수 있는 EDS가 사용되며 표준 석면의 화학조성과 비교한다.

6.2.3.7 모호한 구조로 동정되고 분류된 경우, 모두 EDS로 분석된다.

6.2.3.8 기타 정성분석에 관한 세부사항은 다음 각 호의 방법을 준용한다.

1. 미국 환경청(US EPA) 시험법 : EPA/600/R-94/134 Method 100.2 (Determination of Asbestos Structures over 10 μm in Length in Drinking Water)
2. 국제표준기구(International Standard Organization) 시험법 : ISO 22262-1 Air quality-Bulk materials-Part 1 (Sampling and qualitative determination of asbestos in commercial bulk materials, 2012)
3. 제1호와 동등하게 투과전자현미경을 이용한 석면 분석방법을 제시하는 미국 환경청 (US EPA), 미국 국립산업안전보건연구원(NIOSH) 등의 석면 정성 분석방법

6.2.4 계수법

6.2.4.1 장단비가 $\geq 3:1$ 이며 길이가 10 μm 이상인 경우에 계수한다.

6.2.4.2 모든 구조는 섬유로 계수된다.

6.2.4.3 계단식 면을 가진 섬유는 최소와 최대 폭 사이로 지정한다.

6.2.4.4 많은 평행 섬유들로 구성된 다발(Bundle)은 하나의 섬유로 계수되며 폭은 평균 다발(bundle)의 추정치와 같다고 본다.

6.2.4.5 한 개의 섬유가 비섬유성 조각에 붙어 있는 경우, 그리고 한쪽 끝부분만

보이는 경우, 끝이 보이는 길이의 두 배로 기록된다.

6.2.4.6 기타 정량분석에 관한 세부사항은 다음 각 호의 방법을 준용한다.

1. 미국 환경청(US EPA) 시험법 : EPA/600/R-94/134 Method 100.2 (Determination of Asbestos Structures over 10 μm in Length in Drinking Water)
2. 국제표준기구(International Standard Organization) 시험법 : ISO 22262-2 Air quality-Bulk materials-Part 2 (Quantitative determination of asbestos by gravimetric and microscopical methods, 2014)
3. 그 외 국제적으로 통용되는 투과전자현미경을 이용한 석면 정량 분석방법

6.2.5 바탕시료와 대조시료

6.2.5.1 최소 한 개의 바탕시료가 모든 시료 그룹마다 준비되어야 된다.

6.2.5.2 바탕시료의 경우 47 mm, 0.22 μm MCE필터에 석면이 없는 물 500 mL를 여과하여 준비하며 바탕시료준비는 실제 시료 준비에 사용되는 모든 절차와 동일하게 준비한다.

6.2.5.3 바탕시료의 20 격자에 대한 섬유를 모두 기록한다.

6.2.5.4 평균 섬유 농도는 0.01 MFL보다 적거나 혹은 아무리 큰 값이라도 대상 시료 중에 보고된 가장 낮은 개별시료 농도의 1%이하이어야만 한다.

6.2.5.5 만약 값이 이 기준보다 더 큰 경우, 만족스런 바탕시료 값을 구하기 위한 추가적 분석이 진행되어야만 한다.

6.2.5.6 대조시료가 시료분석계획에 들어가야만 하는데 이는 알려진 섬유 농도를 가진 시료들에서 생성될 수 있는 기대값을 보여주기 위함이다.

6.3.6 계산

석면섬유의 농도는 계수기준에서 섬유(Fiber, Cluster Fiber, Matrix Fiber 등)에 해당하는 계수결과를 이용하여 산정한다.

수질(먹는물) 시료에서 분석된 석면의 농도는 다음 식을 이용하여 산정한다.

$$C_w = \frac{A_e \times F_a \times R_d}{G_n \times G_a \times V} \times 10^{-3}$$

여기서, CW: 수질(먹는물) 석면 농도, MFL(million fibers per liter)

Ae: 여과지 유효 면적, mm²

Fa: 석면 섬유(F, CF, MF 등) 수

Rd: 회석 배율

Gn: 계수 그리드(grid opening) 수

Ga: 평균 그리드면적, μm^2

V : 여과량, mL

7.0 결과보고

7.1 아래의 정보가 분석된 각 시료에 대해 보고되어야 한다.[서식 4]

7.1.1 리터 당 백만섬유단위 (MFL)의 평균 석면 농도

7.1.2 평균 농도에 대한 상위 및 하위 95%의 신뢰한계

7.1.3 분석시 사용된 분취시료와 회석 요인

7.1.4 유효 필터 면적

7.1.5 시험에 사용된 필터의 총면적

7.1.6 계수된 석면구조의 개수 및 사진기록

7.1.7 분석의 민감도

7.1.8 TEM 계수 기록지의 복사본

Ⅳ. 대기편

1. 시료채취 및 관리

1.1 별표 3의 위해성 평가를 위한 실내·외 공기질(실외 대기질 및 실내공기질) 시료채취 및 관리는 석면건축물 실내공기 중 석면 측정방법(환경부 고시)에 따르되, 실외 대기질 시료의 공기 중 석면 및 섬유상 먼지를 채취하기 위한 최소 공기 채취량은 1,200 L를 기준으로 하며, 황사 등 현장 상황을 고려하여 조정할 수 있다.

1.2 별표 3의 위해성 평가를 위한 활동근거시료(ABS) 시료채취는 해당 시나리오별 시료채취 방법에 따른다.

2. 시료의 분석방법

2.1 영향조사를 위해 채취한 실외 대기질 시료, 실내공기질 시료, ABS 시료 중 석면 분석방법은 석면건축물 실내공기 중 석면 측정방법(환경부 고시)-위상차현미경법(이하 "위상차현미경법"이라 한다)을 준용한다.

2.2 실내·외 공기질, ABS 시료 중 석면 섬유의 계수는 종횡비 3:1 이상으로 길이 5 μm 이상, 폭 3 μm 이하인 것을 대상으로 하며, 투과전자현미경으로 분석하는 경우에는 폭이 0.25 ~ 3 μm 인 것을 대상으로 한다.

2.3 위상차현미경법을 이용하여 측정한 결과 0.01 f/cm²를 초과한 경우, 석면건축물 실내공기 중 석면 측정방법(환경부 고시)-투과전자현미경법(이하 "투과전자현미경법"이라 한다)을 준용하여 분석한 후 그 결과를 반영하여 계산된 농도로 생애초과발암위해도를 평가한다.

3. 석면섬유의 농도 산정

3.1 위상차현미경법에 따른 석면섬유의 농도는 위상차현미경법 8.1 농도 계산에 따라 산정한다.

3.2 투과전자현미경법을 이용하여 추가 분석한 경우 석면섬유의 농도는 투과전자현미경법 7.2.7 결과의 계산에 따라 산정한다.

[서식 1] 석면 판정을 위한 점검표

시료	굴절률 (refractive index)	형태 (morphology)	색상 (color)	다색성 (pleochroism)	복굴절률 (birefringence)	소광각 (extinction)	신장률 부호 (sign of elongation)	분산염색 색깔 (interference color)	석면종류 (type of asbestos)
굴절율	1.550								
	1.605								
	1.680								
	1.700								
	1.620								

[서식 2]

암석 중 석면 시험기록부

시료번호		시험일자		년	월	일					
		시 험 자		(인)							
시험항목	시 험 내 용										
정성분석											
형태	long, wavy, curly, straight, bundles, isotropic, non-fiber										
색상											
다색성											
복굴절률	Low(), Mod(), High()										
소광형태	Parallel(), Oblique()										
신장율부호	Positive(), Negative()										
분산염색 색상	굴절액	수직(⊥)		수평(∥)							
	1.550										
	1.605										
	1.680										
	1.700										
	1.620										
석면종류	석면종류	확인		석면종류	확인						
	Actinolite-asbestos			Tremolite-asbestos							
	Anthophyllite-asbestos			Chrysotile							
	Amosite			Crocidolite							
	확인안됨										
시험방법	자연발생석면지역의 환경시료 중 석면 분석방법 - I. 암석편										

[서식 3]

토양 중 석면 시험기록부

시료번호			시험일자		년 월 일					
			시 험 자		(인)					
시험항목	시 험 내 용									
정성분석										
형태	long, wavy, curly, straight, bundles, isotropic, non-fiber									
색상										
다색성										
복굴절률	Low(), Mod(), High()									
소광형태	Parallel(), Oblique()									
신장율부호	Positive(), Negative()									
분산염색 색상	굴절액	수직(⊥)			수평(∥)					
	1.550									
	1.605									
	1.680									
	1.700									
	1.620									
석면종류	석면종류		확인		석면종류					
	Actinolite-asbestos				Tremolite-asbestos					
	Anthophyllite-asbestos				Chrysotile					
	Amosite				Crocidolite					
	확인안됨									
정량분석	점계수법(편광현미경)									
계수된 석면 수		석면종류			검출수					
					폭 3 μm 이하	폭 3 μm 초과				
	1									
	2									
	3									
	4									
	합계									
함량 (%)	[() / 400] X 100 =									
시험방법	자연발생석면지역의 환경시료 중 석면 분석방법 - II. 토양편									

[서식 4]

수질(먹는물) 중 석면 시험기록부

시료번호		시험일자	년	월	일					
		시 험 자			(인)					
시료정보	시료명 :									
	채수량(L) :									
	필터직경(mm) :									
분석정보	분석방법 :									
	현미경기종 :									
	총면적(mm ²) :									
	유효필터면적(mm ²) :									
	원시료희석비 :									
	여과된부피(mL) :									
격자 당 섬유수	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
	6									
	7									
	8									
	9									
	10									
시료 개수 결과	Chrysotile(fibers) :									
	Amphibole(fibers) :									
	전체섬유(fibers) :									
바탕시료의 20격자 섬유 개수 결과	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
분석결과										
MFL	$\frac{(\text{계수된 섬유수}) \times (\text{유효필터면적}) \times (\text{원시료희석비})}{(\text{총면적}) \times (\text{여과된 부피}) \times 1,000} =$									

[서식 5]

공기 중 석면 시험기록부

시료번호		시험일자	년	월	일					
		시 험 자			(인)					
시료정보	시료명 :									
	채취량(L) :									
	필터직경(mm) :									
분석정보	분석방법 : 실내 공기 중 석면 및 섬유상 먼지 농도 측정방법 - 위상차현미경법									
	래티클 : Walton Beckett, 그래티쿨									
	현미경 :									
	W-B 그래티쿨의 계수면적(mm ²) : 0.00785									
	유효시료채취면적(mm ²) : 385									
	정량한계(LOQ) : 10 개/100시아									
시아 당 섬유수	1	11	21	31	41	51	61	71	81	91
	2	12	22	32	42	52	62	72	82	92
	3	13	23	33	43	53	63	73	83	93
	4	14	24	34	44	54	64	74	84	94
	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95
	6	16	26	36	46	56	66	76	86	96
	7	17	27	37	47	57	67	77	87	97
	8	18	28	38	48	58	68	78	88	98
	9	19	29	39	49	59	69	79	89	99
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
시료 계수 결과	총섬유수(개) :									
	총시아수(시아) :									
	시아 당 섬유수(개/시아) :									
바탕시료 계수 결과	전체 바탕시료에서 계수된 총섬유수(개) :									
	전체 바탕시료에서 관찰한 총시아수(시아) :									
	시아 당 섬유수(개/시아) :									
시아 당 섬유수	(시료의 시아 당 섬유수 - 바탕시료의 시아 당 섬유수) (개/시아) :									
분석결과										
섬유밀도	$\frac{(\text{시아 당 섬유수})}{(\text{W-B 그래티쿨의 계수면적})} = \frac{(\text{개/시아})}{0.00785 \text{ mm}^2} = \text{개/mm}^2$									
공기 중 석면 농도	$\frac{(\text{섬유밀도}) \times (\text{유효시료채취면적})}{(\text{채취량}) \times 1000} = \frac{(\text{개/mm}^2) \times (385 \text{ mm}^2)}{(L) \times (1000 \text{ cm}^3/L)} = \text{개/cm}^3$									

[별표 3]

자연발생석면의 위해성 평가방법

1. 위해성 확인

기존 문헌 및 데이터베이스를 활용하여 자연발생석면지역 위해성 평가에 필요한 발암성 독성 영향, 노출 용량 및 수준을 조사하여 제시한다. 이 때 잠재적으로 문제가 될 수 있는 매체도 파악하여야 한다. 위해성 확인을 위한 자료로는 미국 환경청의 IRIS(Integrated Risk Information System)의 데이터를 이용한다.

2. 대상 집단의 선정

대상집단의 선정은 자연발생석면 인근 거주자들의 직업군과 주요활동, 과거노출, 토지이용 등을 기준으로 각 특성에 맞게 층화추출법 등을 고려하여 적용한다.

3. 설문

서식 1의 설문지를 이용하여 활동패턴 등의 설문을 실시하며, 대상 집단의 최소 설문조사 표본 수는 조사대상 지역 주민 수를 고려하여 허용오차(C_p) 10% 내외에서 현장 상황을 고려하여 다음 식을 이용하여 산정한다. 단, 최소 설문조사 표본수가 조사대상 지역 주민수의 50%를 초과하는 경우에는 주민수의 50%를 적용한다.

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 [p(1-p)] N}{Z_{\alpha}^2 [p(1-p)] + C_p^2 (N-1)} \quad \left(\text{단, } \frac{n}{N} > 0.5 \text{ 이면 } n = 0.5N \right)$$

여기서, n = 최소 설문조사 표본 수

Z_{α} = 유의수준 α 의 Z값(= 1.645, α = 0.1 일 때)

p = 표본 비율(=0.5)

C_p = 허용오차(=10%)

N = 조사 대상지역 주민수

대상 집단의 시간활동에 따라 근무시간, 여가시간, 거주시간 등을 평균 노출시간(50%)과 상위 노출시간(95%)을 산정한다. 석면 노출은 최초노출과 노출기간이 주요한 변수 이므로 반드시 대상집단의 거주력, 최초노출력과 각 시나리오 활동별 노출시간을 파악한다.

4. 노출 평가

자연발생석면지역에 대한 위해성 평가를 위해서 노출량에 대한 산정을 수행한다. 자연발생석면지역의 노출평가는 고정식대기시료채취 및 ABS를 이용하여 사람의 호흡 위치에서 측정한다.

고정식대기시료 채취방법은 다음과 같다.

- 1) 시료채취 펌프를 이용하여 멤브레인 여과지(Mixed Cellulose Ester membrane filter)로 공기 중 입자상 물질을 여과 채취한다.
- 2) 시료채취는 바닥으로부터 약 1.5m 높이에서 실시한다.
- 3) 공기는 5~10 L/min의 유량으로 각 시료채취 매체 당 최소 1,200 L 이상의 공기를 채취한다.

활동근거시료채취(ABS) 방법은 다음과 같다.

- 1) 공기 중 석면 시료채취는 개인 모니터링 방법을 사용한다.
- 2) 공기 중 시료를 채취하기 위하여 사용되는 여과지는 각 분석방법에서 지정한 전처리 방법과 분석기기의 특성에 따라 적절히 선정한다.
- 3) 공기 중 시료를 채취하기 위해서는 일반적으로 직경 25 mm 또는 47 mm, 평균 공극 직경 0.45 ~ 1.2 μm 의 셀룰로스 에스테르(MCE, mixed cellulose ester) 여과지 또는 폴리카보네이트(PC, polycarbonate)를 사용한다.
- 4) 공기는 1~16 L/min의 유량으로 채취하되, 최소 400 L 이상 4,000 L 미만으로 채취한다. 단, ABS 활동 중 비산이 심하여 여과지에 입자가 과포집되는 경우 최소 채취량을 조정할 수 있다.
- 5) 시료측정 위치는 개인의 호흡위치에서 측정 할 수 있도록 한다. 여기서 호흡 위치란 호흡기를 중심으로 반경 30 cm 인 반구 또는 어깨 전방으로 직경 12.5 ~ 22.5 cm인 반구를 의미한다. 어른 활동 시에 해당 할 경우 어른에 해당하는 호흡 위치, 어른/어린이 동시 가능한 활동일 경우 어른에 해당하는 호흡 위치와 어린이에 해당하는 호흡 위치에 기구를 장착하여 동시에 측정한다.

ABS시 활용가능한 시나리오는 아래와 같으며, 대상지역의 설문조사 결과를 토대로 지역에 적합한 시나리오를 선정한다. 시나리오는 조사대상지역의 설문조사 결과를 반영하여 기본 수행시간 및 방법을 현실여건에 맞게 추가 조정할 수 있다.

- 1) 자전거 ABS 시나리오 : 자전거 ABS 시나리오를 수행하기 위해 자전거의 주요 이동 경로를 파악하고 비산가능성이 있는 지역을 감안하여, 자전거의 활동 근거지료채취 지점을 선정한다. 시료채취 방법으로는 선발자와 후발자를 나누어 각각 어른 호흡기 위치와 어린이 호흡기 위치에서 퍼스널 에어 펌프를 2대씩 착용한다. 준비가 완료된 선발자와 후발자는 선정된 지역을 일정한 간격(5 ~ 10 m)으로 운행한다. 자전거 운행은 50분 운행, 10분 휴식을 기본으로 하며, 운행 속도는 약 5 ~ 20 km/h로 한다. 목표한 총유량(400 L 이상)이 될 때까지 선정된 지역에서의 운행을 반복수행한다.
- 2) 차량 ABS 시나리오 : 차량 ABS 시나리오를 수행하기 위해 차량의 주요 이동 경로를 파악하고 토양교란으로 인한 비산가능성이 있는 지역을 감안하여 차량의 활동 근거 개인 시료채취 지점을 선정한다. 시료채취 방법으로는 선발자와 후발자를 나누어 각각 어른 호흡기 위치에서 퍼스널 에어 펌프를 착용한다. 준비가 완료된 선발자와 후발자는 선정된 지역을 일정한 간격(5 ~ 10 m)으로 운행한다. 차량 운행은 50분 운행, 10분 휴식을 기본으로 하며, 운행속도는 약 20 ~ 50 km/h로 한다. 목표한 총유량(400 L 이상)이 될 때까지 선정된 지역에서의 운행을 반복 수행한다.
- 3) 오토바이 ABS 시나리오 : 오토바이 ABS 시나리오를 수행하기 위해 오토바이의 주요 이동 경로를 파악하고 토양교란으로 인한 비산가능성이 있는 지역을 감안하여 오토바이의 활동 근거 개인 시료채취 지점을 선정한다. 시료채취 방법으로는 선발자와 후발자를 나누어 각각 어른 호흡기 위치와 어린이 호흡기 위치에서 퍼스널 에어 펌프를 2대씩 착용한다. 준비가 완료된 선발자와 후발자는 선정된 지역을 일정한 간격(5 ~ 10 m)으로 운행한다. 오토바이 운행은 50분 운행, 10분 휴식을 기본으로 하며, 운행속도는 약 20 ~ 40 km/h로 한다. 목표한 총유량(400 L 이상)이 될 때까지 선정된 지역에서의 운행을 반복 수행한다.
- 4) 4륜 바이크 ABS 시나리오 : 4륜 바이크 ABS 시나리오를 수행하기 위해 주요 이동 경로를 파악하고 토양교란으로 인한 비산가능성이 있는 지역을 활동 근거 개인 시료채취 지점을 선정한다. 시료채취 방법으로는 선발자와 후발자를 나누어 각각 어른 호흡기 위치와 어린이 호흡기 위치에서 퍼스널 에어 펌프를 2대씩 착용한다. 준비가 완료된 선발자와 후발자는 선정된 지역을 일정한 간격(5~10 m)으로 운행한다. 4륜 바이크운행은 50분 운행, 10분 휴식을 기본으로 하며, 운행 속도는 약 20~40 km/h로 한다. 목표한 총 유량(400 L이상)이 될 때까지 선정된 지역에서의 운행을 반복 수행한다.

- 5) 경운기 ABS 시나리오 : 경운기 ABS 시나리오를 수행하기 위해 경운기의 주요 이동 경로를 파악하고 토양교란으로 인한 비산가능성이 있는 지역을 감안하여 경운기의 활동 근거 개인 시료채취 지점을 선정한다. 시료채취 방법으로는 선발자와 후발자를 나누어 각각 어른 호흡기 위치와 어린이 호흡기 위치에서 퍼스널 에어 펌프를 2대씩 착용한다. 준비가 완료된 선발자와 후발자는 선정된 지역을 일정한 간격(5 ~ 10 m)으로 운행한다. 경운기 운행은 50분 운행, 10분 휴식을 기본으로 하고 운행속도는 약 5 ~ 30 km/h로 한다. 목표한 총유량(400 L 이상)이 될 때까지 선정된 지역에서의 운행을 반복 수행한다.
- 6) 도보 ABS 시나리오 : 도보 ABS 시나리오를 수행하기 위해 도보 주요 이동 경로를 파악하고 토양교란으로 인한 비산가능성이 있는 지역을 감안하여 도보의 활동 근거 개인 시료채취 지점을 선정한다. 시료채취 방법으로는 실험자의 어른 호흡기 위치와 어린이 호흡기 위치에서 퍼스널 에어 펌프를 2대씩 착용한다. 준비가 완료된 실험자는 선정된 지역을 2.4 ~ 6.4 km/h 정도의 속도로 평균적으로는 3.2 km/h 속도로 걸으며, 도보는 50분 걷고, 10분 휴식을 기본으로 한다. 목표한 총유량(400 L 이상)이 될 때까지 선정된 지역에서의 운행을 반복 수행한다.
- 7) 김매기 ABS 시나리오 : 김매기 ABS 시나리오를 수행하기 위해 김매기 주요 활동을 파악하고 토양교란으로 인한 비산가능성이 있는 지역을 감안하여 김매기의 활동 근거 개인 시료채취 지점을 선정한다. 시료채취 방법으로는 실험자의 어른 호흡기 위치와 어린이 호흡기 위치에서 퍼스널 에어 펌프를 2대씩 착용한다. 준비가 완료된 실험자는 선정된 지역을 몇 개의 사각 구역으로 나누어 표시한다. 각 구역에서 호미 등의 도구로 논, 밭에 있는 잡초나 풀을 숙아내는 작업을 하며, 김매기 작업은 10분 작업, 5분 휴식을 기본으로 한다. 목표한 총유량(400 L 이상)이 될 때까지 선정된 지역에서의 작업을 반복 수행한다.
- 8) 예초기 ABS 시나리오 : 예초기 ABS 시나리오를 수행하기 위해 예초기 주요 활동을 파악하고 토양교란으로 인한 비산가능성이 있는 지역을 감안하여 예초기의 활동 근거 개인 시료채취 지점을 선정한다. 시료채취 방법으로는 실험자의 어른 호흡기 위치와 어린이 호흡기 위치에서 퍼스널 에어 펌프를 2대씩 착용한다. 준비가 완료된 실험자는 선정된 지역을 예초기를 이용하여 40 ~ 45 cm 정도의 풀을 자르며, 예초기 작업은 10분 작업, 5분 휴식을 기본으로 한다. 목표한 총유량(400 L 이상)이 될 때까지 선정된 지역에서의 작업을 반복 수행한다.

- 9) 흙파기 ABS 시나리오 : 흙파기 ABS 시나리오를 수행하기 위해 흙파기 주요 활동을 파악하고 토양교란으로 인한 비산가능성이 있는 지역을 감안하여 흙파기의 활동 근거 개인 시료채취 지점을 선정한다. 시료채취 방법으로는 실험자의 어른 호흡기 위치와 어린이 호흡기 위치에서 퍼스널 에어 펌프를 2대씩 착용한다. 준비가 완료된 실험자는 선정된 지역을 삼을 이용하여 시계방향으로 90도 회전하며 60 cm 깊이의 구멍을 파고 채우는 작업을 하며, 흙파기 작업은 10분 작업, 5분 휴식을 기본으로 한다. 목표한 총유량(400 L 이상)이 될 때까지 선정된 지역에서의 작업을 반복 수행한다.
- 10) 마당쓸기 ABS 시나리오 : 마당쓸기 ABS 시나리오를 수행하기 위해 마당쓸기 주요 활동을 파악하고 토양교란으로 인한 비산가능성이 있는 지역을 감안하여 마당쓸기의 활동 근거 개인 시료채취 지점을 선정한다. 시료채취 방법으로는 실험자의 어른 호흡기 위치와 어린이 호흡기 위치에서 퍼스널 에어 펌프를 2대씩 착용한다. 준비가 완료된 실험자는 선정된 지역을 빗자루를 들고 빗질을 하며, 마당쓸기 작업은 10분 작업, 5분 휴식을 기본으로 한다. 목표한 총유량(400 L 이상)이 될 때까지 선정된 지역에서의 작업을 반복 수행한다.
- 11) 체육활동 ABS 시나리오 : 체육활동 ABS 시나리오를 수행하기 위해 주요 체육활동을 파악하고 토양교란으로 인한 비산가능성이 있는 지역을 감안하여 체육활동의 활동 근거 개인 시료채취 지점을 선정한다. 시료채취 방법으로는 실험자의 어른 호흡기 위치와 어린이 호흡기 위치에서 퍼스널 에어 펌프를 2대씩 착용한다. 준비가 완료된 실험자는 선정된 지역에서 축구, 농구등의 활동으로 서로 패스를 주고받거나, 작은 원을 형성하여 드리블을 한다. 또한 관중처럼 앉아 있거나 주위를 걸어 다니며, 체육활동은 10분 운동, 5분 휴식을 기본으로 한다. 목표한 총유량(400 L 이상)이 될 때까지 선정된 지역에서의 작업을 반복 수행한다.
- 12) 어린이집 ABS 시나리오 : 어린이집 ABS 시나리오를 수행하기 위해 어린이집 주요 활동을 파악하고 토양교란으로 인한 비산가능성이 있는 지역을 감안하여 어린이집기의 활동 근거 개인 시료채취 지점을 선정한다. 시료채취 방법으로는 실험자의 어른 호흡기 위치와 어린이 호흡기 위치에서 퍼스널 에어 펌프를 2대씩 착용한다. 준비가 완료된 실험자는 선정된 지역의 어린이집 앞 놀이터에 있는 놀이기구(미끄럼틀, 시소, 그네)를 차례대로 이용하거나, 어린이집 놀이터에서 작은 모종삽을 이용해 흙 놀이를 하며, 어린이집 활동은 10분 작업, 5분 휴식을

기본으로 한다. 목표한 총유량(400 L 이상)이 될 때까지 선정된 지역에서의 작업을 반복 수행한다.

- 13) 기타 시나리오 : 설문조사를 통하여 파악된 활동과 유사한 시나리오를 대상 지역에 맞게 적용한다.

5. 발암성 물질의 노출평가를 통한 발암위해도 산출

자연발생석면에 의한 발암위해도는 노출농도, 노출시간, 최초 노출로부터 경과 시간을 이용하여 계산한다.

$$ELCR = EPC \times TWF \times IUR$$

여기서, ELCR(Excess Life Cancer Risk) : 생애초과발암위해도

EPC(Exposure Point Concentration) : 노출농도

TWF(Time Weighting Factor) : 시간가중인자

IUR(Inhalation Unit Risk) : 흡입단위위해도(표 1)

① 노출농도

노출농도는 고정식 시료채취와 활동시 공기측정농도를 사용한다.

② 시간가중인자

시간가중인자는 아래의 식을 이용하여 산정한다.

$$TWF = \frac{\text{노출시간}(hr/day)}{24} \times \frac{\text{노출빈도}(day/year)}{365}$$

여기서, 시간가중인자는 활동을 위한 TWF_{ABS} (Activity Based Sampling)와 비활동시 TWF_{Amb} (Ambient)로 구분하고, 각각 활동시 공기측정농도와 고정식시료채취농도(실내 공기질 및 실외공기질 농도)와 곱하여 산정한다. TWFs는 하루(24시간)중 활동시간과 1년중 활동일로 구하며, TWF_{Amb} 는 실내 및 실외거주시의 영향을 고려한다. 실내 거주시의 영향은 하루(24시간)중 실내거주시간과 1년중 거주시간을 이용한다. 또한 실외 거주시의 영향은 하루(24시간)중 실외거주시간과 1년중 거주시간을 이용하며, 아래의 [적용사례]와 같다.

③ 흡입단위위해도

흡입단위위해도는 표1과 같이 최초 노출된 나이와 노출기간을 이용하여 계산한다.

[적용 사례]

거주지에서 타당한 최대노출 시나리오의 경우, 20살에 시작하여 30년 동안의 노출 기간을 간주한다. 마당쓸기 시나리오는 연간 50일, 하루 1시간으로 가정한다. 이와 같이, 실내공기 중의 석면으로 인한 타당한 최대노출(RME)은 마당쓸기 작업을 하지 않은 모든 시간에 일어나는 것으로 간주된다.(연간 50일, 하루 23시간과 연간 300일, 하루 24시간)

마당쓸기 작업에서 ABS(Activity-based sampling)동안 호흡 시 석면농도는 0.02 f/cc이며 이것을 EPC_s 로 사용한다. 실내공기농도측정은 고정식공기모니터에서 측정한 0.0007 f/cc이며 이를 EPC_{Amb} 로 사용한다. ELCR은 석면의 주위 공기 노출위해도와 마당쓸기에서의 석면 노출위해도의 합계로 계산된다.

$$TWF_{ABS} = \frac{1}{24 \text{ hours / day}} \times \frac{50}{365 \text{ days / year}} = 0.0057$$

$$TWF_{Amb} = \frac{23}{24 \text{ hours/day}} \times \frac{50}{365 \text{ days/year}} + \frac{24}{24 \text{ hours/day}} \times \frac{315}{365 \text{ days/year}} = 0.99$$

(마당쓸기 작업 1시간과 집에 있는 23시간을 합한다.)

$IUR_{LTL} = 0.075 \text{ (f/cc)}$ (표 3, 20세부터 30년 동안의 노출)

$$\begin{aligned} ELCR &= [(EPC_{ABS} \times TWF_{ABS}) + (EPC_{Amb} \times TWF_{Amb})] \times IUR_{LTL} \\ &= [(0.02 \text{ f/cc} \times 0.0057) + (0.0007 \text{ f/cc} \times 0.99)] \times 0.075(\text{f/cc})^{-1} \end{aligned}$$

$$ELCR = 8.5 \times 10^{-6} + 5.1 \times 10^{-5} = 5.95 \times 10^{-5}$$

[서식 1]

활동 시나리오 분석을 위한 생활패턴 설문지

1. 농번기의 하루 중 실내에 머무르는 시간은?(시간)
2. 비 농번기의 하루 중 실내에 머무르는 시간은?(시간)
3. 귀하의 주요 활동들을 아래에서 골라 활동시간과 일수를 작성하여 주십시오.

주요 활동	하루 활동 시간	연간 활동 일수	최초 활동 나이	활동 기간
자동차	()시간/일	()일/년	만()세	년 개월
자전거	()시간/일	()일/년	만()세	년 개월
오토바이	()시간/일	()일/년	만()세	년 개월
4륜 바이크	()시간/일	()일/년	만()세	년 개월
경운기	()시간/일	()일/년	만()세	년 개월
도보	()시간/일	()일/년	만()세	년 개월
마당쓸기	()시간/일	()일/년	만()세	년 개월
김매기(잡초뽑기등)	()시간/일	()일/년	만()세	년 개월
흙파기(채굴 등)	()시간/일	()일/년	만()세	년 개월
계절작업(예초기, 트랙터)	()시간/일	()일/년	만()세	년 개월
체육(농구, 축구 등)	()시간/일	()일/년	만()세	년 개월
유치원, 어린이집 실내 활동	()시간/일	()일/년	만()세	년 개월
기타 실내 활동()	()시간/일	()일/년	만()세	년 개월
기타 활동()	()시간/일	()일/년	만()세	년 개월

표 1. 최초노출나이와 노출기간별 흡입단위위해도(폐암+악성중피종)

최초 노출 나이	노출기간 (years)								
	1	2	3	4	5	6	8	10	12
0	1E-02	2.0E-02	3.0E-02	3.9E-02	4.7E-02	5.5E-02	7.1E-02	8.5E-02	9.8E-02
1	9.9E-03	1.9E-02	2.8E-02	3.7E-02	4.5E-02	5.3E-02	6.8E-02	8.1E-02	9.4E-02
2	9.6E-03	1.9E-02	2.7E-02	3.6E-02	4.4E-02	5.1E-02	6.5E-02	7.8E-02	9.0E-02
3	9.2E-03	1.8E-02	2.6E-02	3.4E-02	4.2E-02	4.9E-02	6.3E-02	7.5E-02	8.7E-02
4	8.8E-03	1.7E-02	2.5E-02	3.3E-02	4.0E-02	4.7E-02	6.0E-02	7.2E-02	8.3E-02
5	8.5E-03	1.7E-02	2.4E-02	3.2E-02	3.9E-02	4.6E-02	5.8E-02	7.0E-02	8.0E-02
6	8.2E-03	1.6E-02	2.3E-02	3.1E-02	3.7E-02	4.4E-02	5.6E-02	6.7E-02	7.7E-02
7	7.9E-03	1.5E-02	2.3E-02	2.9E-02	3.6E-02	4.2E-02	5.4E-02	6.4E-02	7.4E-02
8	7.6E-03	1.5E-02	2.2E-02	2.8E-02	3.5E-02	4.1E-02	5.2E-02	6.2E-02	7.1E-02
9	7.3E-03	1.4E-02	2.1E-02	2.7E-02	3.3E-02	3.9E-02	5.0E-02	5.9E-02	6.8E-02
10	7.0E-03	1.4E-02	2.0E-02	2.6E-02	3.2E-02	3.8E-02	4.8E-02	5.7E-02	6.6E-02
11	6.8E-03	1.3E-02	1.9E-02	2.5E-02	3.1E-02	3.6E-02	4.6E-02	5.5E-02	6.3E-02
12	6.5E-03	1.3E-02	1.9E-02	2.4E-02	3.0E-02	3.5E-02	4.4E-02	5.3E-02	6.1E-02
13	6.3E-03	1.2E-02	1.8E-02	2.3E-02	2.9E-02	3.4E-02	4.3E-02	5.1E-02	5.8E-02
14	6.1E-03	1.2E-02	1.7E-02	2.3E-02	2.8E-02	3.2E-02	4.1E-02	4.9E-02	5.6E-02
15	5.9E-03	1.1E-02	1.7E-02	2.2E-02	2.7E-02	3.1E-02	3.9E-02	4.7E-02	5.4E-02
16	5.6E-03	1.1E-02	1.6E-02	2.1E-02	2.6E-02	3.0E-02	3.8E-02	4.5E-02	5.2E-02
17	5.4E-03	1.1E-02	1.6E-02	2.0E-02	2.5E-02	2.9E-02	3.7E-02	4.4E-02	5.0E-02
18	5.2E-03	1.0E-02	1.5E-02	1.9E-02	2.4E-02	2.8E-02	3.5E-02	4.2E-02	4.8E-02
19	5.1E-03	9.9E-03	1.4E-02	1.9E-02	2.3E-02	2.7E-02	3.4E-02	4.0E-02	4.6E-02
20	4.9E-03	9.5E-03	1.4E-02	1.8E-02	2.2E-02	2.6E-02	3.3E-02	3.9E-02	4.4E-02
21	4.7E-03	9.2E-03	1.3E-02	1.7E-02	2.1E-02	2.5E-02	3.1E-02	3.7E-02	4.3E-02
22	4.5E-03	8.8E-03	1.3E-02	1.7E-02	2.0E-02	2.4E-02	3.0E-02	3.6E-02	4.1E-02
23	4.4E-03	8.5E-03	1.2E-02	1.6E-02	2.0E-02	2.3E-02	2.9E-02	3.5E-02	3.9E-02
24	4.2E-03	8.2E-03	1.2E-02	1.6E-02	1.9E-02	2.2E-02	2.8E-02	3.3E-02	3.8E-02
25	4.1E-03	7.9E-03	1.2E-02	1.5E-02	1.8E-02	2.1E-02	2.7E-02	3.2E-02	3.6E-02
26	3.9E-03	7.7E-03	1.1E-02	1.4E-02	1.8E-02	2.1E-02	2.6E-02	3.1E-02	3.5E-02
27	3.8E-03	7.4E-03	1.1E-02	1.4E-02	1.7E-02	2.0E-02	2.5E-02	3.0E-02	3.4E-02
28	3.7E-03	7.1E-03	1.0E-02	1.3E-02	1.6E-02	1.9E-02	2.4E-02	2.8E-02	3.2E-02
29	3.5E-03	6.9E-03	1.0E-02	1.3E-02	1.6E-02	1.8E-02	2.3E-02	2.7E-02	3.1E-02
30	3.4E-03	6.6E-03	9.7E-03	1.2E-02	1.5E-02	1.8E-02	2.2E-02	2.6E-02	3.0E-02
31	3.3E-03	6.4E-03	9.3E-03	1.2E-02	1.5E-02	1.7E-02	2.1E-02	2.5E-02	2.9E-02
32	3.2E-03	6.2E-03	9.0E-03	1.2E-02	1.4E-02	1.6E-02	2.1E-02	2.4E-02	2.7E-02
33	3.1E-03	6.0E-03	8.7E-03	1.1E-02	1.4E-02	1.6E-02	2.0E-02	2.3E-02	2.6E-02
34	3.0E-03	5.7E-03	8.3E-03	1.1E-02	1.3E-02	1.5E-02	1.9E-02	2.2E-02	2.5E-02
35	2.9E-03	5.5E-03	8.0E-03	1.0E-02	1.3E-02	1.5E-02	1.8E-02	2.1E-02	2.4E-02
36	2.8E-03	5.3E-03	7.7E-03	1.0E-02	1.2E-02	1.4E-02	1.8E-02	2.1E-02	2.3E-02
37	2.7E-03	5.1E-03	7.5E-03	9.6E-03	1.2E-02	1.3E-02	1.7E-02	2.0E-02	2.2E-02
38	2.6E-03	5.0E-03	7.2E-03	9.2E-03	1.1E-02	1.3E-02	1.6E-02	1.9E-02	2.1E-02
39	2.5E-03	4.8E-03	6.9E-03	8.9E-03	1.1E-02	1.2E-02	1.5E-02	1.8E-02	2.0E-02
40	2.4E-03	4.6E-03	6.6E-03	8.5E-03	1.0E-02	1.2E-02	1.5E-02	1.7E-02	1.9E-02
45	1.9E-03	3.7E-03	5.4E-03	6.9E-03	8.2E-03	9.5E-03	1.2E-02	1.3E-02	1.5E-02
50	1.5E-03	2.9E-03	4.1E-03	5.3E-03	6.3E-03	7.2E-03	8.7E-03	1.0E-02	1.1E-02

출처: US EPA, Framework for Investigating Asbestos-Contaminated Superfund Sites, APPENDIX E, TABLE 4., 2008

표 1. (계속)

최초 노출 나이	노출기간 (years)									
	14	16	20	24	25	30	40	50	60	LT
0	1.1E-01	1.2E-01	1.4E-01	1.5E-01	1.6E-01	1.7E-01	1.9E-01	2.1E-01	2.2E-01	2.3E-01
1	1.0E-01	1.2E-01	1.3E-01	1.5E-01	1.5E-01	1.7E-01	1.9E-01	2.0E-01	2.1E-01	2.2E-01
2	1.0E-01	1.1E-01	1.3E-01	1.4E-01	1.5E-01	1.6E-01	1.8E-01	1.9E-01	2.0E-01	2.1E-01
3	9.7E-02	1.1E-01	1.2E-01	1.4E-01	1.4E-01	1.5E-01	1.7E-01	1.8E-01	1.9E-01	2.0E-01
4	9.3E-02	1.0E-01	1.2E-01	1.3E-01	1.3E-01	1.5E-01	1.6E-01	1.8E-01	1.8E-01	1.9E-01
5	8.9E-02	9.8E-02	1.1E-01	1.3E-01	1.3E-01	1.4E-01	1.6E-01	1.7E-01	1.7E-01	1.9E-01
6	8.6E-02	9.4E-02	1.1E-01	1.2E-01	1.2E-01	1.3E-01	1.5E-01	1.6E-01	1.7E-01	1.8E-01
7	8.3E-02	9.1E-02	1.0E-01	1.2E-01	1.2E-01	1.3E-01	1.4E-01	1.5E-01	1.6E-01	1.7E-01
8	7.9E-02	8.7E-02	1.0E-01	1.1E-01	1.1E-01	1.2E-01	1.4E-01	1.5E-01	1.5E-01	1.6E-01
9	7.6E-02	8.4E-02	9.6E-02	1.1E-01	1.1E-01	1.2E-01	1.3E-01	1.4E-01	1.5E-01	1.6E-01
10	7.3E-02	8.0E-02	9.2E-02	1.0E-01	1.0E-01	1.1E-01	1.3E-01	1.4E-01	1.4E-01	1.5E-01
11	7.1E-02	7.7E-02	8.9E-02	9.8E-02	1.0E-01	1.1E-01	1.2E-01	1.3E-01	1.3E-01	1.4E-01
12	6.8E-02	7.4E-02	8.5E-02	9.4E-02	9.6E-02	1.0E-01	1.2E-01	1.2E-01	1.3E-01	1.4E-01
13	6.5E-02	7.1E-02	8.2E-02	9.1E-02	9.2E-02	1.0E-01	1.1E-01	1.2E-01	1.2E-01	1.3E-01
14	6.3E-02	6.8E-02	7.9E-02	8.7E-02	8.9E-02	9.7E-02	1.1E-01	1.1E-01	1.2E-01	1.2E-01
15	6.0E-02	6.6E-02	7.5E-02	8.3E-02	8.5E-02	9.3E-02	1.0E-01	1.1E-01	1.1E-01	1.2E-01
16	5.8E-02	6.3E-02	7.2E-02	8.0E-02	8.2E-02	8.9E-02	9.8E-02	1.0E-01	1.1E-01	1.1E-01
17	5.6E-02	6.1E-02	7.0E-02	7.7E-02	7.8E-02	8.5E-02	9.4E-02	1.0E-01	1.0E-01	1.1E-01
18	5.3E-02	5.8E-02	6.7E-02	7.4E-02	7.5E-02	8.1E-02	9.0E-02	9.5E-02	9.8E-02	1.0E-01
19	5.1E-02	5.6E-02	6.4E-02	7.1E-02	7.2E-02	7.8E-02	8.6E-02	9.1E-02	9.4E-02	9.8E-02
20	4.9E-02	5.4E-02	6.2E-02	6.8E-02	6.9E-02	7.5E-02	8.3E-02	8.7E-02	9.0E-02	9.3E-02
21	4.7E-02	5.2E-02	5.9E-02	6.5E-02	6.6E-02	7.2E-02	7.9E-02	8.3E-02	8.6E-02	8.9E-02
22	4.6E-02	5.0E-02	5.7E-02	6.2E-02	6.3E-02	6.9E-02	7.6E-02	8.0E-02	8.2E-02	8.5E-02
23	4.4E-02	4.8E-02	5.4E-02	6.0E-02	6.1E-02	6.6E-02	7.2E-02	7.6E-02	7.8E-02	8.1E-02
24	4.2E-02	4.6E-02	5.2E-02	5.7E-02	5.8E-02	6.3E-02	6.9E-02	7.2E-02	7.4E-02	7.7E-02
25	4.0E-02	4.4E-02	5.0E-02	5.5E-02	5.6E-02	6.0E-02	6.6E-02	6.9E-02	7.1E-02	7.3E-02
26	3.9E-02	4.2E-02	4.8E-02	5.2E-02	5.3E-02	5.8E-02	6.3E-02	6.6E-02	6.8E-02	7.0E-02
27	3.7E-02	4.1E-02	4.6E-02	5.0E-02	5.1E-02	5.5E-02	6.0E-02	6.3E-02	6.4E-02	6.6E-02
28	3.6E-02	3.9E-02	4.4E-02	4.8E-02	4.9E-02	5.3E-02	5.7E-02	6.0E-02	6.1E-02	6.3E-02
29	3.4E-02	3.7E-02	4.2E-02	4.6E-02	4.7E-02	5.0E-02	5.5E-02	5.7E-02	5.8E-02	6.0E-02
30	3.3E-02	3.6E-02	4.0E-02	4.4E-02	4.5E-02	4.8E-02	5.2E-02	5.4E-02	5.5E-02	5.7E-02
31	3.2E-02	3.4E-02	3.9E-02	4.2E-02	4.3E-02	4.6E-02	4.9E-02	5.1E-02	5.3E-02	5.4E-02
32	3.0E-02	3.3E-02	3.7E-02	4.0E-02	4.1E-02	4.4E-02	4.7E-02	4.9E-02	5.0E-02	5.1E-02
33	2.9E-02	3.1E-02	3.5E-02	3.8E-02	3.9E-02	4.2E-02	4.5E-02	4.6E-02	4.7E-02	4.8E-02
34	2.8E-02	3.0E-02	3.4E-02	3.7E-02	3.7E-02	4.0E-02	4.2E-02	4.4E-02	4.5E-02	4.6E-02
35	2.7E-02	2.9E-02	3.2E-02	3.5E-02	3.5E-02	3.8E-02	4.0E-02	4.2E-02	4.2E-02	4.3E-02
36	2.5E-02	2.7E-02	3.1E-02	3.3E-02	3.4E-02	3.6E-02	3.8E-02	3.9E-02	4.0E-02	4.1E-02
37	2.4E-02	2.6E-02	2.9E-02	3.2E-02	3.2E-02	3.4E-02	3.6E-02	3.7E-02	3.8E-02	3.8E-02
38	2.3E-02	2.5E-02	2.8E-02	3.0E-02	3.0E-02	3.2E-02	3.4E-02	3.5E-02	3.6E-02	3.6E-02
39	2.2E-02	2.4E-02	2.7E-02	2.8E-02	2.9E-02	3.0E-02	3.2E-02	3.3E-02	3.4E-02	3.4E-02
40	2.1E-02	2.3E-02	2.5E-02	2.7E-02	2.7E-02	2.9E-02	3.1E-02	3.1E-02	3.2E-02	3.2E-02
45	1.6E-02	1.7E-02	1.9E-02	2.0E-02	2.0E-02	2.1E-02	2.2E-02	2.3E-02	2.3E-02	2.3E-02
50	1.2E-02	1.3E-02	1.4E-02	1.4E-02	1.4E-02	1.5E-02	1.5E-02	1.5E-02	1.5E-02	1.6E-02

[별표 4]

관리지역 지정 범위 결정 방법**1. 목 적**

- 자연발생석면 영향조사 결과를 바탕으로 석면으로 인한 지역 주민의 건강피해 및 위해성 등이 크게 우려되는 지역을 파악하기 위하여 관리지역 지정 범위를 결정하기 위한 절차이다.
- 위해성평가지 ABS는 토양 내 함유되어 있는 석면의 대기 중 비산을 통한 인체 흡입정도를 평가하기 위하여 수행한다.

2. 관리지역 지정 대상 여부 판단절차**(1) 시나리오별 ABS 수행**

[별표 3]에 제시된 시나리오는 조사대상지역의 현실여건에 맞게 정밀조사를 수행하는 기관이 추가 및 조정 할 수 있으며, ABS를 실시하는 지역은 조사대상지역을 대표할 수 있어야 한다.

(2) 위해도 도출

토양 중 석면함유농도가 0.25% 이상인 경우에는 [별표 1]의 절차에 따라 관리지역 지정 여부를 판단하는데, [별표 3]의 위해성평가를 이용하며, 각각의 시나리오별로 위해성평가를 수행한 후 시나리오에 따라 위해도를 산출한다.

(3) 관리지역 지정 범위 판단

관리지역 지정 범위로 설정하는 지역은 다음과 같다.

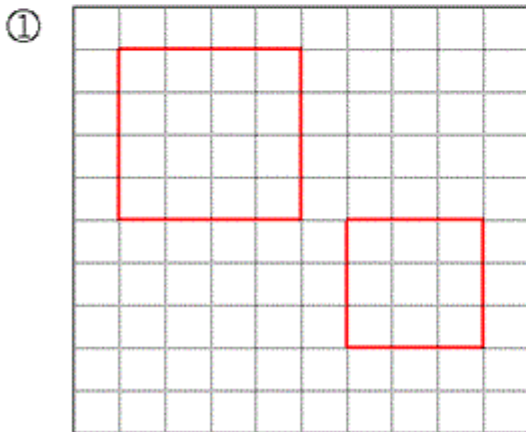
- 1) 노두 및 암석 중 석면이 검출된 지역
- 2) 토양 중 비산성석면 농도가 0.25% 이상인 지역 중 생애초과발암위해도 평가 결과 [별표 3]의 위해성 기준(10^{-4})을 초과한 지역과 10^{-5} 이상인 지역 중 검토위원회 결정 지역

3. 관리지역 지정 범위 결정방법**(1) ABS 시나리오별 적용 방법**

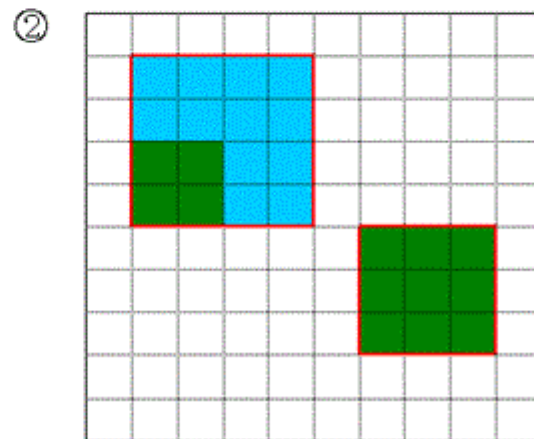
[별표 3]에 제시된 ABS 시나리오 중 1 ~ 5번의 이동을 가정한 시나리오는 이동경로에 포함된 모든 지변을 대표하며, 6 ~ 11번의 시나리오는 각각의 수행된 지변을 대표하는 것으로 간주한다.

(2) 관리지역 지정 대상 범위 결정

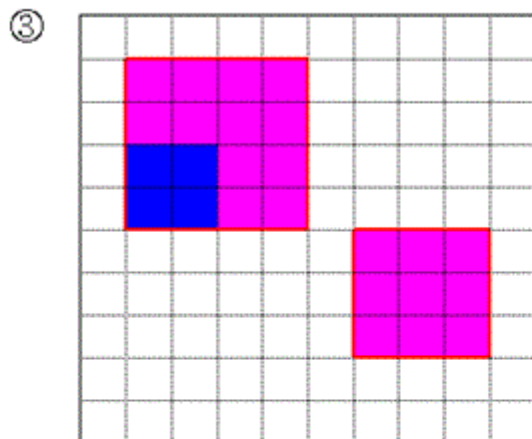
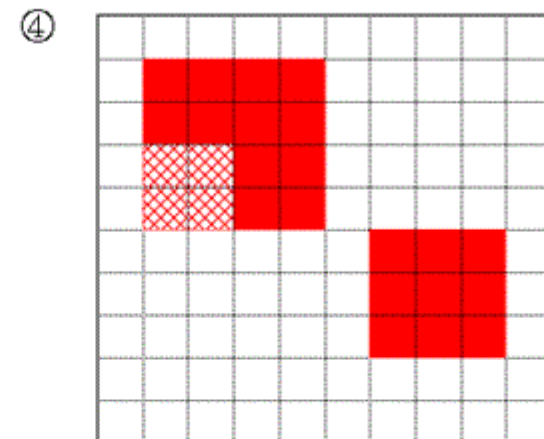
- 1) 노두 및 암석 조사 결과 석면이 검출된 지역(지번, 면적 등)을 관리지역 지정 대상으로 한다.
- 2) 영향조사 결과 토양 중 비산성 석면농도가 0.25% 이상이며, ABS를 이용한 위해성평가 결과 생애초과발암위해도가 10^{-4} 초과한 지역과 10^{-5} 이상인 지역을 구분하여 표기한다.
- 3) 이상의 관리지역 지정 대상을 모두 포함하는 가장 작은 법정동·리 경계와 지적경계를 관리지역 지정 대상 범위로 결정한다.



(영향조사 결과 토양농도 도시)



(ABS를 이용한 위해성평가수행지역)

(평가결과 10^{-4} 초과/ 10^{-5} 이상 지역)

(관리지역 지정 범위)

- : 토양 내 비산성 석면농도가 0.25% 이상인 지역
 : ABS 시나리오 1~5번을 이용한 위해성평가 수행지역
 : ABS 시나리오 6~11번을 이용한 위해성평가 수행지역
 : 평가 결과 생애초과발암위해도 10^{-4} 초과 지역/ 10^{-5} 이상 지역
 : 관리지역 지정 범위 : 검토위원회 결정범위

[별표 5]

자연발생석면 상세석면분포도 작성방법

1. 기본사항

가. 기본도 축척

상세석면분포도의 축척은 1:5,000을 기본으로 하되, 현장 여건에 따라 조정할 수 있으며, 이 경우 축척의 적합성은 검토위원회의 검토를 받는다.

나. 기존 지질도의 활용

영향조사 지역의 광역 및 정밀지질도를 이용하여 상세석면분포도의 기본도를 작성하고, 그 위에 영향조사(암석, 토양) 결과와 대기, 수질(먹는물), 활동근거시료 채취지점의 생애초과발암위해도 평가결과를 포함한 상세한 석면분포정보를 추가하여 작성한다.

2. 기본도의 작성 원칙

가. 1:5,000 축척의 지형도를 기본으로 한다.

나. 광역지질도의 정보를 표기한다.

다. 정밀지질도의 추가정보를 광역지질도 위에 표기하되 같은 위치의 정보가 다른 경우 정밀지질도의 정보를 우선하여 표기한다.

3. 현장조사 지점 표기

가. 대기, 실내공기, 수질 조사지점은 포인트로 표기한다.

나. 활동근거시료 채취지점은 영역으로 표기하되, 이동수단에 따른 채취지점은 경로가 확인되도록 선으로 표기한다.

4. 현장조사 결과 표시

가. 암석 중 석면확인 지점을 점으로 표기하고 이를 포함한 지적경계를 파란색 빗금무늬로 표기한다.

나. 토양 중 석면확인 지점을 점으로 표기하고 이를 포함한 지적경계를 빨간색 빗금무늬로 표기한다.

5. 법정경계 표시

- 가. 법정동·리 경계는 가는 점선으로 표기한다.
- 나. 지적경계는 가는 실선으로 표기한다.

6. 관리지역 지정 범위 경계 표시

- 가. 법정동·리 경계가 암석과 토양 중 석면확인 격자를 포함하는 가장 작은 지역을 포함하도록 하여 설정한다.
- 나. 법정동·리 경계 내에서 석면확인 지적경계를 모두 포함하는 외곽 지적경계선을 파란색 굵은 실선으로 표기한다.
- 다. 위해성 평가에 따른 관리지역 지정 범위 결정방법은 [별표 4]에 따른다.

7. 상세석면분포도 작성 예외

영향조사(본조사) 대상지역 내에서 노두 및 암석 조사 결과 석면이 검출되지 아니하고, 토양 중 비산성 석면 농도가 0.25% 이상인 지역이 없는 경우, 상세석면분포도를 작성하지 아니할 수 있다.