

석면 폐광산의 효율적 광해관리를 위한 현장조사 및 평가기법 제안



윤운상
(주)넥스지오 대표이사



이용호
(주)한서엔지니어링 부사장
(lyh1869@nate.com)

1. 서론

지난 2008년 3월, 미 재무부와 환경청(EPA)은 10여년을 끌어온 리비 광산 지역 주변의 트레몰라이트 석면 피해 소송에서 가해 기업인 WR 그레이스사가 피해 규모조사 및 방제 비용 2억5000만달러에 달하는 벌금을 내기로 합의했다고 밝힌 바 있다. 이는 미국이 환경 재난 지역의 피해를 복구하는 '슈퍼펀드'법을 만든 이후 사상 최대 규모의 배상금이다.

최근 국내에서도 충남 홍성과 보령, 충북 제천, 강원 영월에 이어 경북 영주에서도 석면광산 인근지역이 석면에 오염된 사실이 알려짐에 따라 본격적인 폐석면광산 주변 지역에 대한 환경영향 조사를 추진키로 하는 등 국내 석면 관련 광산 지역 오염 여부에 대한 관심이 증대되고 있다. 이 논문에서는 국내 석면 폐광산의 현황을 분석하고, 해외 제국가의 사례에 기초하여 석면광산 광해평가 및 효율적 광해관리를 위한 현장 조사 및 평가 기법을 소개, 기술하고자 한다.

2. 석면 광물 및 국내 석면 광산 현황

2.1 석면 광물

석면 섬유는 불연성이고 부식되지 않으며 직조가 가능하여 한때 높은 산업응용성을 가진 광물이었으나, 폐암, 중피종암, 석면폐증, 유방암, 난소암 등 각종 질환의 원인 물질로 보고되어 현재에는 광석을 비롯하여 석면제품은 사용을 하지 못하도록 규제하고 있다(Browne, 1991, 최정근 외 1998).

일반적으로 석면(asbestos)은 자연계에 존재하는 섬유상의 광물성 규산염을 총괄하여 일컫는 용어로 섬유상의 사문석 계열의 백석면(chrysotile)과 각섬석 계열의 크로시돌라이트(crocidolite, 청석면), 액티노라이트(actinolite), 안소필라이트(anthophyllite), 트레몰라이트(tremolite, 토면), 아모사이트(amosite, 갈석면) 등을 지칭한다(ATSDR, 2001; 2003; Berman, 2001; EPA IRIS, 2003; DoIR, 2001). 이때 문제가 되는 석면 섬유(astbestos fibres)는 길

표 1. 석면의 물리화학적 특성

항목	각섬석계 석면					사문석계 석면
	Tremolite $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Anthophyllite $(\text{Mg,Fe})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Amosite $(\text{Mg,Fe})_3(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2(\text{OH, F})_2$	Crocidolite $\text{Na}_2\text{Fe}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH, F})_2$	Actinolite $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Chrysotile $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
색 상	백색, 담갈색	담회색, 담갈색, 녹색	담회색, 갈색	청색	담록색	백색, 황색, 녹색
경 도	5.5	5.5~6.0	5.5~6.0	4	6	2.5~4.0
비 중	2.9~3.2	3.1~3.25	3.1~3.25	3.2~3.3	3.0~3.2	2.4~2.6
인장강도	8,000	5,000	25,000	35,000	5,000	31,000
가 연 성	(적다, 보통)	(적다, 보통)	보통	(크다, 양호)	보통	(크다, 양호)
Max.lg.Loss	980	980	870~980	650	-	980
용융온도	1,450°C	1,450°C	1,100°C	1,000°C	1,440°C	1,520°C
여 과 성	중간	중간	빠름	빠름	중간	느림
전 히	-	-	-	-	-	+
내 산	(최적)	(양호)	(양호)	(양호)	보통	(불량)
내알칼리성	매우크다	크다	크다	크다		적다
자성체함량	-	-	-	3.0~5.9	-	0~0.5
형 상	주,편,섬유상	주,편,섬유상	주,편,섬유상	섬유상	주,편,섬유상	섬유상
결	단사	사방	단사	단사	단사	단사

출처 : 한국지질자원연구원, 자원총람 2005, 한국석면환경협회

표 2. 석면 출현과 관련된 지질 조건, 미국 캘리포니아주의 예 (CDC, 2002)

Geologic Setting (as reported)	Asbestos Type
Serpentinite (or serpentinized peridotite)	Chrysotile, Tremolite, Anthophyllite
Altered gabbroic inclusions in quartz diorite (asbestos associated with vermiculite in these inclusions)*	Chrysotile
In silicified serpentinite*	Amphibole asbestos
A "granular olivine-hornblende rock"*	Amphibole asbestos
A "shear zone in granite"*	Amphibole asbestos
Piemontite schist*	Tremolite
Limestone, "crystalline" limestone or marble (contact metamorphic area)	Tremolite
In dolomitic limestone along a belt of serpentinite	Chrysotile and amphibole asbestos
Dolomite	Chrysotile
Nickel laterite	Chrysotile
Shale*	Asbestos
Serpentinite/amphibolite contact	Amphibole asbestos
Serpentinite/slate contact	Tremolite
Slate/granite contact*	Anthophyllite
In schist and serpentinite*	Amphibole asbestos
In boulders with nephrite and jadeite*	Riebeckite asbestos (crocidolite)
Albite*	Riebeckite asbestos (crocidolite) or acicular riebeckite
Schists*	Anthophyllite asbestos

* Only one such occurrence was reported in the literature reviewed.

이 5 μ m 이상이고 Aspect Ratio (길이:너비) 3:1 이상인 섬유상 광물 (Bulk sample) 5:1로 정의하고 있다. 일반적인 석면 광물의 특징은 표 1과 같다.

석면 광물은 유연성이 있는 견사상 광택의 극세 섬유상의 광물로서 변성광상 형태로 산출되며, 모암은 사문석, 각섬암 등으로 이들 암석의 균열을 따라 고온 고압 열수용액이 침투하여 교대작용을 일으키면서 섬유상 결정으로 재결정되어 생성되며, 표 2와 같이 다양한 지질조건에서 산출될 수 있다(CDC, 2002)

2.2 국내 석면광산 현황

석면 광산으로 인한 피해 가능성은 첫째, 석면 광산가행 중 광산 노동자 및 주변 지역 주민의 직접적 피해, 둘째, 폐광 후 광미적지장 및 폐석장 등 광산 폐기물의 이동 및 확산에 의한 피해, 셋째, 석면 함유 암석의 풍화 등에 의한 석면 비산 등으로 인한 피해 등을 거론할 수 있다.

국내의 경우, 1930년대 중반 전국에 걸쳐 석면광산개발이 시작되었으며, 해방당시 전국의 석면광산은 총 28개로 남한에는 충북제천 7개, 충주 2개 광산과 충남 서산 2개, 당진 1개, 광천 1개, 김화 2개, 영월 1개의 광산이 보고되고 있다. 대표적인 석면광산은 백석면(chrysotile) 광산인 충남 홍성지방의 광천 석면광산으로 국내 백석면의 90%에 달하는 동아시아 최대 광산으로서 1944년 백석면 4815톤을 생산한 바 있으며, 근로자수가 약 1,100명에 이르고 지역주민이 약 2,000명 정도가 관련되었다(한국의 지질과 광물자원, 1991). 1984년 광천광산이 폐광될때까지 우리나라

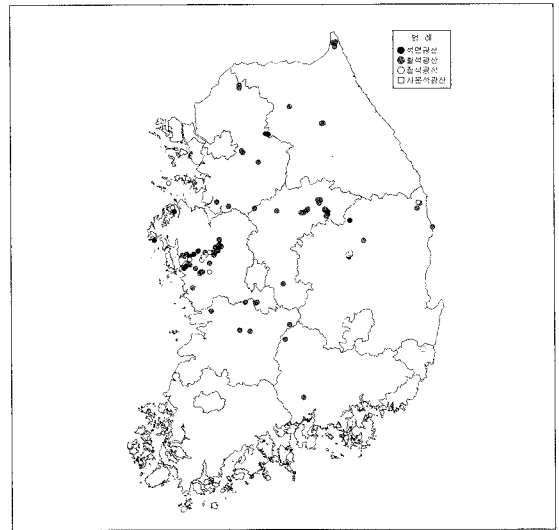


그림 1. 국내석면광산 분포도

에서 생산된 석면의 총 생산량은 145,000톤이었으며 대부분 백석면이었다. 광천광산을 제외한 석면광산은 석면계통인 석유피와 토면광산이 포함되었을 것으로 추정되었다(최정근 외, 1998a). 표 3은 국내 석면 주요 광산의 현황이다(대한광업진흥공사, 2006).

우리나라에서 생산되는 광물 중에 석면 섬유가 함유되었을 가능성이 높은 광물은 직섬석계, 각섬석계, 투각섬석계로서 이러한 광물은 활석(talc), 사문석(serpentine), 백운석(dolomite), 석유피(sepiolite), 규회석(wallastonite), 토면(tremolite), 불석(zeolote), 산성백토(pyrophyllite) 등이 수반될 가능성이 존재한다. 그림 1은 국내 석면 광산 및 관련 광산의 분포도이다.

석면은 2009년 기준 총 13개 광산이 등록되어 있으며 이

표 3. 주요광산의 매장량 및 현황

No.	광산명	소재지	면적(M)	연장(M)	매장량(천톤)			가채광량(천톤)
					확정	추정	계	
1	이화	강원 영월 영월	28	150		82.8	82.8	58.0
2	봉헌	경북 영풍 봉헌	2	100		4.0	4.0	2.8
3	중앙(보령)	충남 보령 오천	15	350		122.7	122.7	85.9
4	대보석산	충남 보령 청소	10-30	160-240	50.0	198.0	248.0	183.6
5	광천	충남 홍성 광천	25	70-80	74.0	164.0	238.0	181.4
석면 계					124.0	571.5	695.5	511.7

출처 : 대한광업진흥공사, 광물자원 매장량 현황(2006. 12. 31)

중 10개 광산이 충남지역에 분포하고 있다. 지역별로는 충남 홍성 지역이 6개 광산으로 가장 많이 분포하며 충남의 태안, 서산, 보령 지역과 경기도의 가평, 경북 영주, 안동 등지에 분포하고 있다. 사문석은 총 5개 광산으로 경북 안동에 2개, 경기 가평에 1개, 충남 청양에 1개, 울산에 1개 광산이 분포하고 있다. 석면광상으로 개발되던 광상들이 석면의 수요가 감소하며, 과거 석면광상으로 개발되던 광상들이 현재 사문석광상으로 가행되고 있다.

활석은 73개 광산으로 충남지역에 26개, 충북지역에 15개 등으로 충청도 지역에 가장 많이 분포하고 있다. 이외에 경기도, 강원도, 전라북도, 경상북도 등지에 골고루 분포하고 있다. 충남지역의 사문석 광상은 주로 사문암 기원의 활석 및 석면광상의 모임이 되는 사문석 암체로 선캠브리아기의 변성암류에 관한 감람암 페리도타이트 및 반려암을 모암으로 산출된다(한국의 광상, 2007).

질석광산은 총 8개의 광산이 보고되어 있으며, 충남 서산에 3개 광산, 청양에 2개 광산 등 7개 광산이 충남지역에 분포하며, 1개 광산이 인천 옹진에 분포하고 있다. 질석은 크게 초염기성암류의 열수변질작용과 풍화작용으로 형성되는 두 가지 유형으로 나타난다. 충남 서산의 질석은 흑운모 편암내에 발달된 열극을 따라 흑운모가 질석화 된 것이며, 충남 홍성 및 청양지역의 질석광은 시대미상의 운모편암을 관입한 초염기성암류에 협재한 각섬석편암류를 모암으로 산출된다(한국의 광상, 2007).

3. 석면노출위험도 평가

석면 관련 질병유발 주요 요인은 다음과 같다.

- 1) 공기중 흡입석면농도
- 2) 노출 기간
- 3) 석면 광물의 종류
- 4) 석면섬유의 형상(크기와 모양)

일반적으로 암을 유발시킬 가능성은 각섬석 계열의 청석면 등이 사문석 계열의 백석면에 비해 큰 것으로 알려져 있다. 석면 광산 지역 또는 석면 함유 암석 주변 지역에 대해서는 지질학자 또는 광물학자에 의한 암석 및 토양 분석

에 의해 석면함유 및 존재가 확인되고 이의 지속적인 확산 또는 흡입 가능성이 존재할 경우, 석면 노출 위험도에 대한 평가를 시행하여야 한다.

3.1 DoIR guideline

호주의 산업자원부(DoIR, 2001)는 '광산 운영중 석면 광물의 관리 가이드라인'을 통하여 석면 노출기준과 석면관리권고지침을 제시하고 있다.

석면 노출기준(exposure standard)은 석면 광산에서 주 5일, 평균 8시간/1일 노동자를 기준으로 석면 종류에 따라 근로자의 공기흡입량(ml) 중 평균 석면 섬유 농도(섬유 개수)로 다음 표 4와 같이 제시되었다(NOHSC, 1995).

DoIR는 표 4의 노출 기준에 기초하여 공기 시료 채취방법(airsampling, NOHSC, 1988)에 의해 폭 1 μ m 이하, 길이 5 μ m 이상의 석면 섬유를 측정하여 이에 의한 석면 농도에 따라 표 5와 같은 행동 지침을 제시하고 있다.

이때, 평균치는 여러 지점 또는 각 구역별 측정결과로 결

표 4. 석면 종류별 노출 기준

석면 종류	노출기준
chrysotile(백석면)	1.0f/ml
crocidolite(청석면)	0.1f/ml
amosite(갈석면)	0.1f/ml
otherforms or mixtures	0.1f/ml

표 5. 석면관리를 위한 권고행동지침

측정석면농도(기준에 대한 %)	recommended action
평균(10% 또는 대부분(50%)	- no action necessary
평균(30% 이고 거의모두(100%)	- 모니터링 빈도 증가, 노출기준 낮게 유지 확인
평균)30% 또는 5%미만에서)100%	- 현장작업에 대한 조사, 관리대책 조사 관리절차 시행, 개인 모니터링, 감시절차 이행
5%이상에서 >100%	- 지역지정과 개선방안 설계 (예, 관리대책개선) - 규정된 석면관리 절차 시행 (예, 본 지침서 절차)

주)측정농도는 4시간 이상 측정-평균노출치

석면 폐광산의 효율적 광해관리를 위한 현장조사 및 평가기법 제안

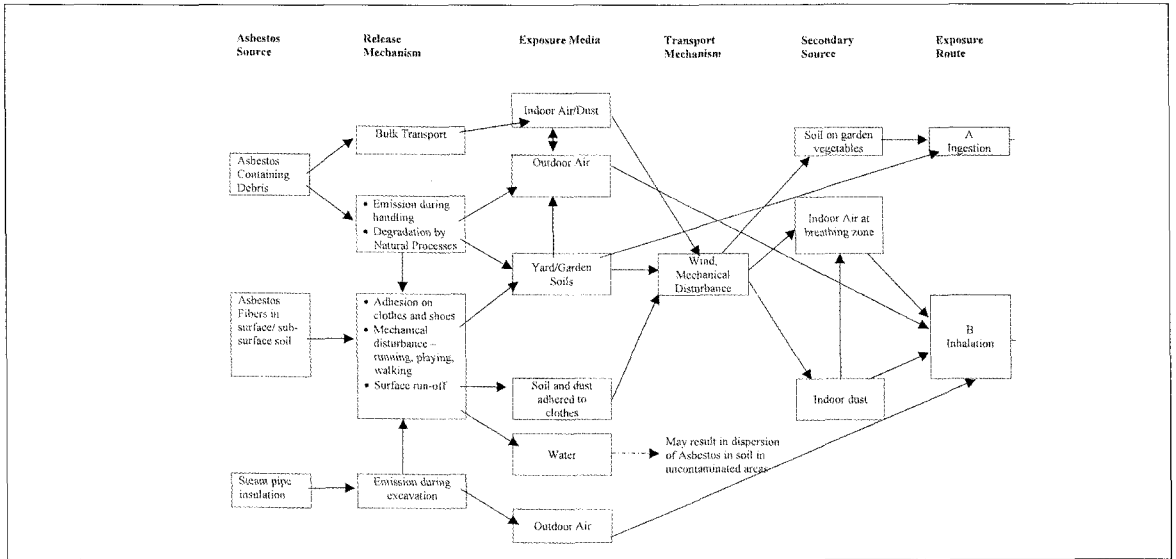


그림 2. 석면 오염 토양 오염에 대한 잠재적 노출경로의 개념 모델

정하며 적절한 통계기법을 사용하여 결정하며, 평균값이 기준값의 30% 초과할 경우 SEM(scanning electron microscopy) 또는 TEM(transmission electron microscopy)을 적용하여 석면 광물의 종류를 명확히 확인하는 것이 필요하다. 샘플링자료는 3달에 한번 정기적인 모니터링이 요구된다.

3.2 EPA's Risk Assessment

EPA (1992)의 석면 오염 토양의 교란으로 인한 공기 중 석면 노출에 대한 잠재적 리스크 평가는 크게 다음의 네 단계로 구분된다.

- 1) 위험 확인 (hazard identification)
- 2) 노출 평가 (exposure assessment)
- 3) 독성 평가 (toxicity assessment)
- 4) 리스크 특성화, 불확실성 분석 (risk characterization & uncertainty analysis)

위험에 대한 확인 과정은 특정 지역에 석면이 함유된 물질 또는 석면 함유가 지표 또는 지하의 토양의 포함 여부로부터 시작된다. 이렇게 토양 중에 석면 물질 또는 석면 함유의 존재가 확인되고, 인위적 (굴착, 경작 및 기타 활동) 또는 자연적 (물, 바람 등에 의한 침식과 이동, 운반 등) 교란이 현

재 또는 미래에 발생할 수 있는 지에 대한 평가가 이루어진다. 단, 석면을 포함하고 있는 지표 또는 지하의 토양 (또는 암석)이 존재할 경우, 이의 교란 등에 의한 노출 위험성은 언제 어디서든 발생할 수 있다는 것이 기본이다.

노출에 대한 평가 (EPA, 1992)는 해당 지역에 대한 개념적 부지 모델 (CSM, conceptual site model)을 구성하는 과정이 중심 논의이다. CSM은 다음의 구성요소로 구성되며, 그림 2는 석면으로 오염된 토양으로부터 공기로 이동하는 석면의 노출 경로에 대한 개념적 모델의 예이다.

- 1) 노출원 (source of exposure)
- 2) 석면 이완/이동 메카니즘 (mechanism of asbestos release and transport)
- 3) 영향 매체 (affected media): 토양, 공기 등
- 4) 현재/미래 토지 사용 (current & future land use)
- 5) 현재/미래의 잠재적 노출 인구 (C&F potentially exposed population)
- 6) 잠재적 노출 경로 (potential exposure pathway)

노출 평가에서 노출점 농도 (exposure point concentration)와 인간 노출도 예측 (estimation of human exposure dose)은 주의깊게 다루어야 한다. 특히 노출점 농도에서 토양 중 석면과 공기 중 석면의 관계는 중요한 문제

로서 Addison 외 (1988)는 석면 섬유 양이 1% 이하 (0.001%)인 토양으로부터 OSHA (Occupational Safety and Health Administration) 한계 ($0.1\text{f}/\text{ml}$) 이상의 석면 섬유가 공기중으로 방출될 수 있음을 보고한 바 있다.

충분히 검토한 후 현장조사를 계획하고 조사목적에 부합하는 조사범위, 조사항목 및 수량을 결정하여야 한다. 그림 3은 석면 오염 조사의 개요이다.

4.1 조사항목, 항목별 목적 및 활용방안

4. 석면폐광산 석면 오염 조사

석면광산 주변의 석면 오염 조사는 주변의 지질분포 특성, 기존자료 유무, 현재 또는 미래의 부지 활용계획 등을

조사수량 및 기준은 지질특성, 오염토양토의 분포특성 및 오염 확산 경로, 분포심도 및 범위, 복원계획, 미래 부지 활용도(도로개설, 주거지역, 산업지역 개발예정부지 등)를 고려하여 빈도 및 간격을 조정하여야 한다. 조사의 목적,

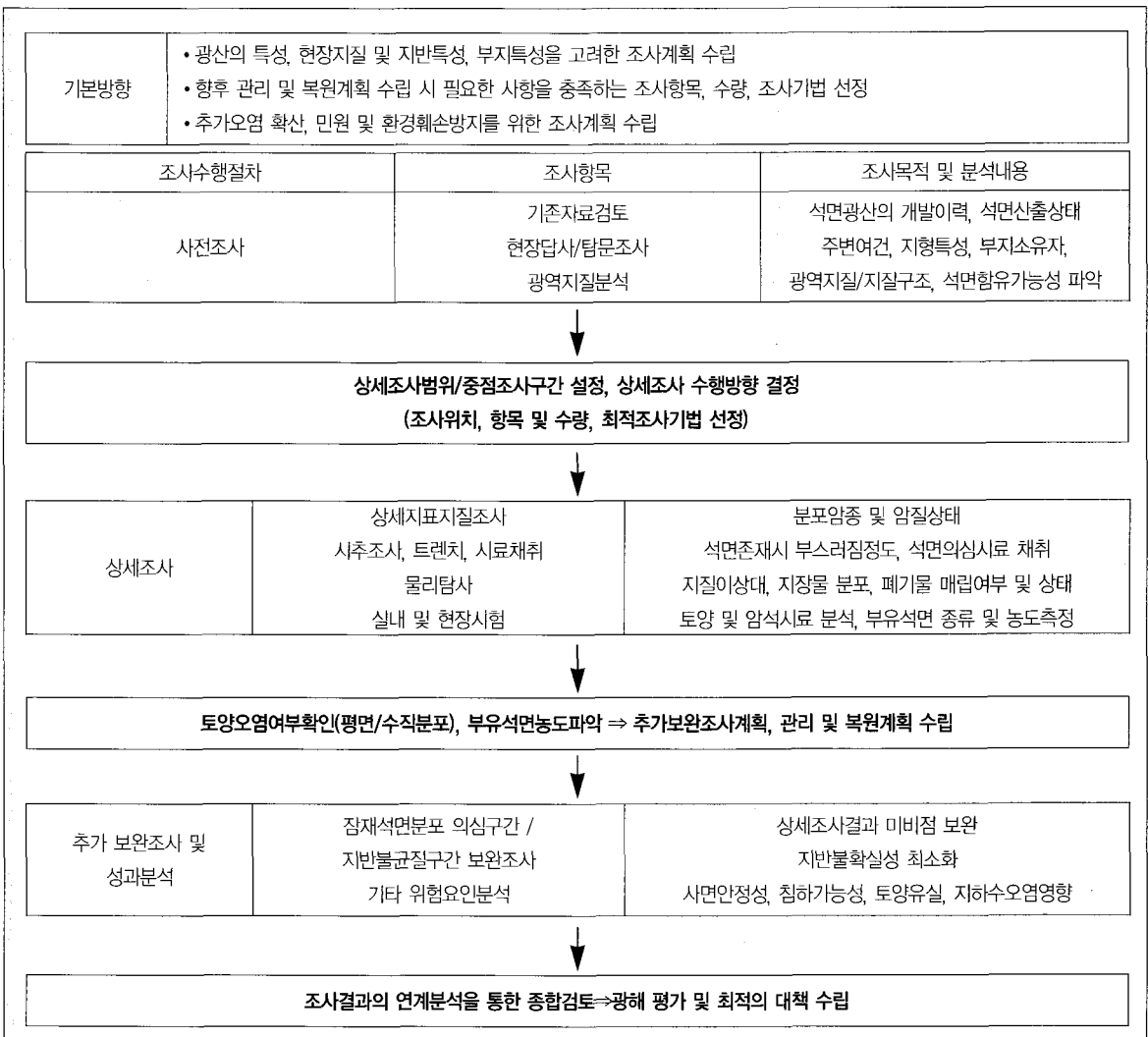


그림 2. 석면 오염 토양 오염에 대한 잠재적 노출경로의 개념 모델

표 6. 석면 오염 조사 항목의 목적 및 활용방안

항목	목적	활용방안
기존자료검토 및 탐문조사	광상 및 주변부지 정보	광역 및 상세조사계획 수립
(고)지형도 위성영상 및 항공사진 분석	지형, 산계 및 수계특성지형변화이력, 지질 및 지질구조	과거부지이력 확인, 광역지질 및 구조분석
지표지질조사	광상, 지질 및 지질구조	광상특성분석, 상세조사계획수립 시 활용
몰리탐사	지질이상대, 지하매설물 파악	복원 설계 및 시공계획 시 반영
트렌치	토양분포, 지하지질정보	석면분포특성, 잠재가능성에 관한 정보
시추조사	토양분포, 지하지질정보	석면분포특성, 잠재가능성에 관한 정보
토양/암석시료채취	지표/지중 시료 성분 분석	석면종류, 농도, 오염분포도 작성
공기중 시료 채취	공기중 시료 성분 분석	석면종류, 농도, 오염분포도 작성
석면 농도 측정	석면함유여부, 석면종류, 농도 파악	석면종류, 농도, 오염분포도 작성
석면오염분포도 작성		오염분포도 작성, 광해 관리 및 복원 대책 수립

부지특성화하는 요소가 무엇인지를 명확히 하여 조사항목을 결정하고 조사항목별 목적에 대한 설명이 필요하고 조사로부터 획득한 자료는 부지 관리 또는 복원대책수립 시 활용할 수 있어야 한다. 또한 조사결과와 신뢰수준을 높이기 위해 조사수행자, 조사방법, 조사수량의 적정성이 검토되어야 한다. 현장조사는 민원 및 환경훼손을 최소화하고 현장조사로 인한 추가적인 오염확산 발생을 방지하여야 하며 향후 대책 및 복구계획을 고려한 조사계획이 수립되어야 한다. 표 6은 조사 항목과 목적 및 활용방안을 정리한 것이다.

시추조사는 지반중의 석면 산출상태를 평가할 목적으로 수행되며 가능한 핸드오거링, 직접관입방법으로 수행한다. 시추수량 및 위치는 부지크기, 석면분포특성, 잠재가능성에 관한 유용한 정보를 토대로 결정하며 예로 석면오염지역이 일정지역에 국한될 경우에 조사수량을 소량으로, 석면오염지역이 산재 분포할 경우에는 조사수량을 증대할 필요가 있다. 복원 대상 지역 평가를 위한 조사트렌치는 격자형태로 설정하며 굴착심도는 원지반 또는 비교란토가 예상되는 심도까지 또는 장래굴착심도까지 굴착한다. 사진을 촬영하고 석면함유물질로 추정되거나 의심되는 구간은 시료를 채취한다. 트렌치는 의심물질이 없을 때까지 외곽으로 계속 진행한다. GPR, EM, 또는 몰리탐사기술은 지반특성을 파악하고 지하 매설물 탐지와 기존 토공작업여부, 매립여부 및 상태, 이상대 존재유무 등을 조사하는데

유용하다.

4.2 시료의 채취와 분석

프로젝트의 목적과 필요에 따라 샘플종류, 수, 샘플방법, 분석방법, 조사심도 등이 달리 요구되며 프로젝트에 따라 정성적인 정보만 요구되기도 하고 정량적인 분석이 요구되기도 한다. 시료의 채취는 target sampling과 unbiased sampling으로 구분할 수 있다. target 샘플링의 목적은 정성적인 정보 및 추론을 증명하기 위한 것이며, unbiased 샘플링은 뚜렷한 지질학적 고려없이 수행되는 샘플링을 말하며 일부는 random 샘플링이라고 표현하기도 한다. target sampling은 특정 위치 또는 특정 지질 및 토양조건에 대해 시료를 채취하는 것으로 주로 광역 조사 또는 예비 조사 중에 수행된다. unbiased sampling은 상세 조사 시 수행되며, 규칙적인 격자형의 regular sampling과 불규칙적인 irregular sampling으로 구분되며, 상세 조사 시 일반적으로 격자형 조사에 준하여 시료를 채취한다(그림 4).

Regular Sampling은 Irregular Sampling에 비해 개인적인 편차를 줄일 수 있는 장점이 있으나 지형, 산림, 수계 등에 의한 영향이 고려되지 않은 단점이 있다. Irregular Sampling은 격자망 위치가 불필요하기 때문에 좀 더 신속하게 샘플링을 수행할 수 있다. 동일한 면적에 대해 두 방법이 수행되어진다면 거의 유사한 결과를 보여줄 것이다.

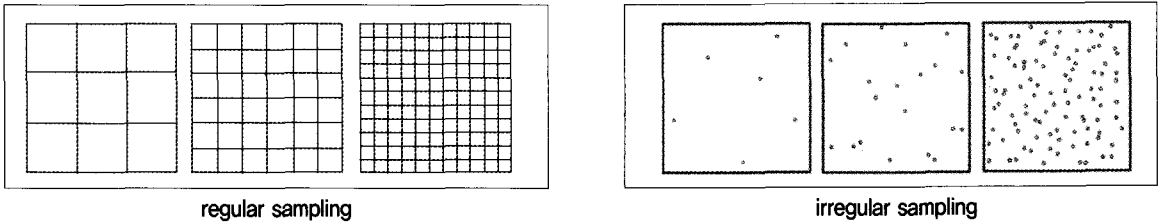


그림 4. 시료 채취 방법

시료는 암석학적 평가 경험자, 지역 암석에 익숙한 사람이 평가 및 채취하는 것을 원칙으로 하며 의심되는 석면물질은 적절히 습윤화하여 조사 및 샘플링 과정 중 불필요한 비산을 방지하여야 한다. 모든 토양시료에 대해 육안조사를 실시하여 의심되는 석면의 존재여부는 토양 샘플 야외 주상도에 기록하여야 한다. 시료채취과정에서 의심석면물질의 채취는 시료보관함에 적당히 습윤화하여 비산을 방지하고 샘플링 양식에 채취위치, 날짜, 채취시간, 파쇄정도, 형태 등을 기재하여야 한다.

지표시료채취는 육안조사를 위한 격자망을 구성하고 각 격자당 5~10개 정도 샘플링하며 시료채취수는 구역크기, 부지조건에 따라 달라진다. 채취도구는 국자형태의 모종삽으로 채취하며 시료채취용기에 옮긴 후 밀봉하고, 라벨에는 시료채취 위치, 날짜, 시간, 부스러짐정도, 기타 관찰사항을 기재한다. 새로운 지표오염가능성을 최소화하기 위해 지표하 시료채취, 굴착, 토공작업 전에 수행한다. 트렌치, 시추 등의 방법으로 지중의 시료를 채취할 경우 다양한 지층으로부터 시료를 채취하며 시료수는 5~10개/트렌치, 시추공당 정도 채취한다. 조사심도는 장래 부지사용계획을 고려하여 결정하며, 지층 깊이별, 지층별로 채취하고 적당히 습윤화하여 채취과정중 비산을 방지한다.

섬유상 광물에 대한 현장 간편 시험으로 분쇄기, 알콜, 돋보기 등의 도구를 이용하여 현장에서 섬유상광물을 시험하는 방법으로 섬유상물질을 분쇄기에 넣고 알콜로 덮은 후 분쇄하고 돋보기로 관찰한다. 시료가 쉽게 가루로 분쇄되면 섬유상이 아니며 침상 또는 섬유상으로 분리, 형클어지거나 볼을 형성하면 섬유상이거나 섬유상석면일 수 있다. 간편시험결과는 실내시험분석을 의뢰할 시료를 선정하는데 유용하다.

공기중 시료의 채취는 샘플링 펌프에 의한 멤블레인 필터를 통해 채취하며, 샘플링 시간은 적어도 4시간 이상으로 작업자에 부착하거나 또는 정적인 위치에 고정한다. 샘플링 시작 후 필터홀더번호, 시작시간, 초기펌프의 프로우레이트, 측정위치, 대기및 환기조건, 기타자료를 기재한다.

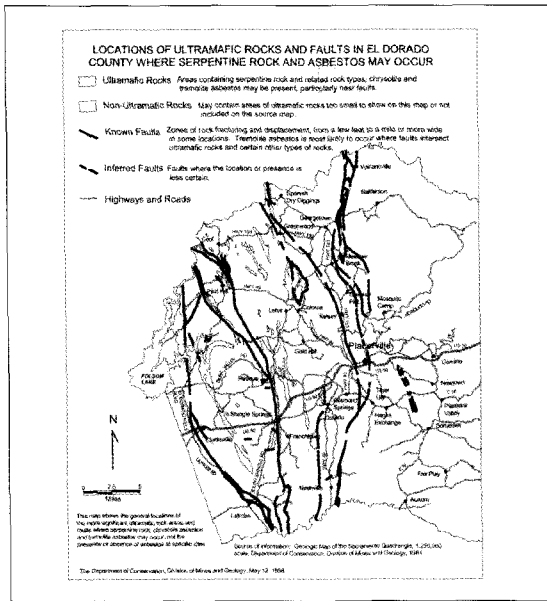
석면의 농도는 시료 중 석면 섬유의 개수를 측정하는 것으로 다음의 4가지 방법이 사용된다.

- 1) 편광현미경 (polarized light microscopy, PLM)
- 2) 위상차현미경 (phase contrast microscopy, PCM)
- 3) 전자현미경 (scanning electron microscopy, SEM)
- 4) 투과전자현미경 (transmission electron microscopy, TEM)

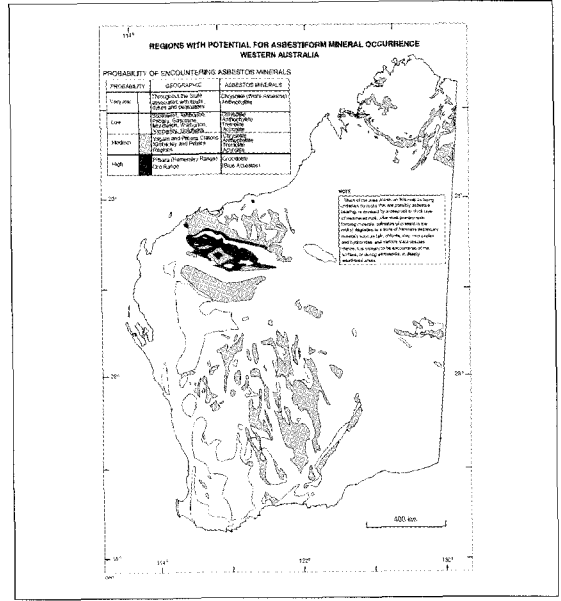
토양 속의 석면은 보통 편광현미경과 SEM, TEM을 이용하여 분석하며, 공기중의 석면 물질은 위상차 현미경 및 SEM, TEM을 이용하여 분석한다.

4.3 석면 광산 오염지도 작성

석면오염지도(asbestos potential map)에는 석면함유암석 등 각종 암석 기원에 의한 토양분포조사(예, 사문암기원 토양 분포지역조사), 식생분포조사, 노두조사, 토양 및 암석시료분석, 대기중 석면오염시험, 시추조사 및 트렌치 등 각종 조사 및 시험결과를 토대로 석면광물종류, 분포범위, 분포심도, 산출가능성 등급 등을 도면상에 표기한다. 조사자는 기존광산자료를 포함하여 석면종류, 농도, 광물 산출형태, 분포범위를 기록하며 또한 주변현황(풍속, 풍향, 도로, 차량통행상태, 지형 특성), 비산가능성, 오염도 확산범위와 오염경로 추적결과, 대기질 측정결과, 부지개발이력 등 조사된 자료를 체계적으로 정리하여 향후 해당부지 및



미국의 예



호주의 예

그림 5. 석면 산출 지도의 예

주변지역의 개발, 시설물 설치계획, 복원설계 및 대책수립이 필요할 경우 등에 활용할 수 있도록 해야 한다. 그림 5는 호주와 미국의 석면 광물 산출 지도의 예이다 (DoIR, 2001; Clinkenbeard et al, 2002).

5. 맺으며

이상에서 국내 석면 광산 및 관련 광산의 현황과 석면 오염 노출 평가 기법 및 조사에 대해 그 개요를 정리하였다. 미국의 Mine Safety and Health Administration에서는 미국광산의 약 15% 정도(석면함유제품에 의한 석면오염도 포함된 수치)가 석면에 오염되어 있고 노출농도도 0.1f/cc 이상인 것으로 평가하고 있다. 또한 최근 미국의 경우 유해석면의 정의에 비석면상 광물과 다른 화학조성을 가진 광물을 포함시키는 문제가 논란이 되고 있다. 유해석면의 정의에 비석면상 광물이 포함되는가 여부에 따라 석면오염 분포지역의 범위도 현격한 변화를 보일 것이다.

국내에서도 “인체 유해 석면의 정의”에 대한 논의와 활성, 질석, 사문석 광산 등 석면관련 광산에 의한 석면오염

뿐만 아니라 석면 산출 가능성이 있는 지질분포지역의 일 반광산, 채석장, 절취사면 등에 의한 오염가능성에 대해서도 포괄적이고 체계적인 조사가 필요하다. 아울러 이러한 현장조사 및 시험결과, 석면오염범위 검토결과 등을 종합하여 전국적인 석면광산오염지도를 작성하고 이에 따른 적절하고 체계적인 관리시스템 구축 및 복원대책 수립이 필요할 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. 대한광업진흥공사 (2006) 광물자원 매장량 현황(2006. 12. 31)
2. 최정근, 백도명, 백남원 (1998) 우리나라의 일부 광물중 석면 섬유유 함유에 대한 조사, 한국산업위생학회지 제8권 제2호
3. 한국지질자원연구원 (2006) 자원총람
4. Addison et al (1988) The release of disturbed Asbestos fibers from soil. IOM Report TM/88/14
5. ATSDR (2001) Toxicological profile for asbestos. Atlanta: U.S. DOHHS

6. Berman, D. and Crump, K. (2003) Technical support document for protocol to assess Asbestos-related risk.
7. Clinkenbeard, J., Churchill, R. and lee, K. (2002) Guideline for geological investigation of naturally occurring asbestos in California, California Geological Survey.
8. Department of Industry and Resouces (DoIR, 2001) Management of asbestos in mining operation
9. EPA (1992) Federal Register Notice, Guidelines for Exposure Assessment May 29. 57FR 22888. EPA/600-Z-92/001
10. EPA IRIS (2006) Asbestos on line
11. Hazardous Materials and Waste Management Division(2007) Asbestos- contaminated soil guidance document
12. National Occupational Health and Safety Commission (NOHSC, 1988) Guidance Note on the Membrane Filter Method for the Estimation of Airborne Asbestos Dust, Canberra : Australian Government Publishing Service. Occupational Safety & Health Reporter, Vol. 38, No. 22, 05/29/2008, pp.428-439
13. Virta, R (2001) Asbestos : Geology, Mineralogy, Mining and Uses. Department of Mineral and Petroleum Resources guideline. USGS

한국지반공학회 논문집 정기구독 신청 안내

회원 여러분의 안위를 기원합니다.

1999년 1월부터 우리학회의 간행물이 학회지와 논문집으로 분리 발간되었습니다. 학회지는 매월 무가로 회원들께 배포되며, 논문집은 유가로 1년에 20,000원의 구독료를 납부하고 받아보실 수 있습니다. 필요하신 회원은 다음 사항을 참고하셔서 논문집 구독 신청을 하시기 바랍니다.

다 음

- 구 독 료 : 1년 12회, 20,000원
- 신청기한 : 수시(단, 신청시점이 구독료 납부 회계시점임)
- 입 금 처 : 국민은행 (예금주: 한국지반공학회) 534637-01-002333
- * 입금 후 반드시 학회 사무국(02-3474-4428, 7865)으로 연락하여 확인하시기 바랍니다.