

폐석면광산 주변 지역의 토양 및
대기 중 석면의 위해성 평가 연구

연세대학교 보건대학원

환 경 보 건 전 공

김 광 덕

폐석면광산 주변 지역의 토양 및 대기 중 석면의 위해성 평가 연구

지도 신 동 천 교수

이 논문을 보건학 석사학위 논문으로 제출함

2013년 6월 일

연세대학교 보건대학원

환 경 보 건 전 공

김 광 덕

김광덕의 보건학 석사학위 논문을 인준함

심사위원 _____인

심사위원 _____인

심사위원 _____인

연 세 대 학 교 보 건 대 학 원

2013년 6월 일

감사의 말씀

먼저 본 논문과 학업이 완성되도록 많은 지도와 도움을 주신 신동천 교수님께 감사를 드립니다. 또한, 바쁘신데도 불구하고 논문의 주제 선정 등 세심한 지도와 조언을 하여 주신 임영욱 교수님, 그리고 다리가 불편한 가운데 항상 웃는 모습으로 논문의 완성을 높이기 위해 애쓰신 양지연 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 아울러 주경야독의 대학원 생활에 많은 도움을 주신 환경공학연구소 홍승한 조교님 등 연구원분들께도 감사를 드립니다.

또한, 바쁜 업무에도 학업에 정진할 수 있도록 배려해주신 환경부 최홍진 국장님, 박광석 국장님, 정진섭 과장님, 신진수 과장님, 조성준 사무관님, 임주홍 사무관님, 원경하 사무관님께 감사 인사를 드립니다.

특히, 이번 논문을 쓰면서 많은 도움을 주신 한국건설기술연구원 송태협 박사님, 한국건설자원협회 김선영 대리님 등 관계 전문가 분들께 감사드리며, 대학원 생활이 즐거운 추억이 될 수 있도록 함께 동고동락한 박주희 동기와 민재홍님, 김영일님, 이상훈님, 사효진님 등 모든 선·후배 분들께 깊은 감사를 드리며, 함께 했던 많은 시간을 좋은 추억으로 간직하겠습니다.

끝으로 이 모든 것을 하나님께 감사드리며, 오늘이 있기까지 저를 격려하고 보살피 주신 부모님, 뒤늦게 시작한 학업을 무사히 마칠 수 있도록 물심양면 뒷바라지 해 준 고맙고 사랑하는 아내 손정연, 이쁘게 커 준 나의 자랑스런 딸 수현, 아들 수왕에게 감사와 사랑의 마음 담아 이 작은 결실을 바칩니다. 감사합니다.

2013년 6월

김 광 덕 올림

차 례

국문요약

I. 서론	1
II. 연구내용 및 방법	5
1. 연구내용	5
2. 연구 방법	6
가. 국외 사례 조사 분석	6
나. 국내 폐석면 현황 조사 자료의 수집	7
다. 집중 분석 대상 선정	8
라. 수집 자료 분석	9
마. 수집 자료에 의한 폐석면광산 인근의 거주 주민의 위해성 평가	11
III. 연구 결과	23
1. 폐석면광산 인근지역의 석면 분포 형태 분석 결과	23
가. 폐석면광산 인근지역 토양의 석면 함유 특성	23
나. 폐석면광산 인근지역 대기/실내 공기 중 석면 함유 특성 분석	24
다. 폐석면광산 인근지역 활동근거별 공기 중 석면 함유 특성	28

2. 폐석면광산 인근 거주 주민의 위해성 평가	33
가. 부지 특성별 석면 농도에 의한 흡입 위해도	33
나. 생활 활동 시나리오에 의한 석면 흡입 위해도	35
(1) 생활 활동 시나리오별 석면 노출 농도(EPC) 산출	35
(2) 생활 활동 시나리오별 석면 흡입 위해도 산출	37
다. 폐석면광산 인근 거주 주민의 흡입 위해 기여 요인 분석	44
(1) 생활 활동 시나리오별 위해 기여율 비교	44
(2) 주요 노출 인자의 민감도 분석	49
3. 폐석면광산의 석면 저감 방안 제안	58
 IV. 고 찰	59
 V. 결 론	65
 참고문헌	69
 영문초록	71

표 차 례

표 1. 자료수집 대상 폐석면광산 특성	7
표 2. 대상 지역의 특성을 고려한 생활 활동 시나리오(ABS) 관련 노출 시나리오 점검표 및 시나리오 선정 결과	14
표 3. 생활 활동 시나리오별 노출 시간 및 빈도 조사 자료	17
표 4. 첫 노출 연령 및 노출 기간을 보정·외삽한 흡입 발암 단위위해도, IUR_{LTL} (US EPA)	18
표 5. 노출 시나리오에 의한 시간 보정 계수(TWF) 산출 사례	20
표 6. 인체 위해도 분포 추정을 위한 관련 변수의 확률분포 모형	22
표 7. 폐석면광산의 이격거리별 토양 중 석면 함유 농도	23
표 8. 자료 수집 대상 폐석면광산의 조사 시기별 공기 시료수	24
표 9. 폐석면광산 인근 지역의 조사 시기별 대기 중 석면 농도 분포	25
표 10. 폐석면광산 인근 지역의 조사 시기별 실내공기 중 석면 농도 분포	26
표 11. 폐석면광산 인근 지역 특성별 대기 중 석면의 PCM 농도	27
표 12. 폐석면광산 인근 지역 특성별 대기 중 석면의 TEM 농도	28
표 13. 생활 활동 시나리오(ABS)에 따른 공기 중 PCM 농도	30
표 14. 생활 활동 시나리오(ABS)에 따른 공기 중 TEM 농도	31
표 15. 폐석면광산 부지 특성별 대기 중 석면 농도	33
표 16. 폐석면광산 부지 특성별 성인 및 어린이의 석면 흡입 위해도	34
표 17. 생활 활동 시나리오별 호흡 영역의 석면 노출 농도(EPC)	36
표 18. 폐석면광산 인근 지역 거주 성인의 생활 활동 시나리오별 일일평균 인체노출량 산출	38

표 19. 폐석면광산 인근 지역 거주 성인의 생활 활동 시나리오별 평생초과 발암위해도 추정	39
표 20. 폐석면광산 인근 지역 거주 어린이(만7-12세)의 생활 활동 시나리오별 일일평균인체노출량 산출	42
표 21. 폐석면광산 인근 지역 거주 어린이(만7-12세)의 생활 활동 시나리오별 평생초과발암위해도 추정	43
표 22. 폐석면광산 인근지역 거주 성인의 인체 위해 분포 및 허용위해수준 초과율	45
표 23. 폐석면광산 인근지역 거주 어린이(만 7~12세)의 인체 위해 분포 및 허용위해수준 초과율	47
표 24. 석면 흡입 위해 관련 노출 인자 중 1% 이상의 민감도를 보인 변수	57
표 25. 미국 환경보호청의 다양한 공간 및 행위별 석면 저감 기준	63
표 26. 미국 환경보호청의 석면 위험특성화별 위해 관리 대책 수립 방안	64

그 립 차 례

그림 1. 연구의 틀.	5
그림 2. 석면의 잠재적인 인체 노출 매체 및 경로	12
그림 3. 생활 활동 시나리오(ABS)에 따른 공기 중 PCM 농도 비교	32
그림 4. 생활 활동 시나리오(ABS)에 따른 공기 중 TEM 농도 비교	32
그림 5. 폐석면광산 부지 특성별 대기 중 석면 농도 비교	34
그림 6. 폐석면광산 부지 특성별 석면 흡입 위해도 비교	35
그림 7. 생활 활동 시나리오별 호흡 영역의 석면 농도(EPC) 비교	37
그림 8. 폐석면광산 인근 지역 거주 성인의 생활 활동 시나리오별 일일평균인체노출량 비교	39
그림 9. 폐석면광산 인근 지역 거주 성인의 생활 활동 시나리오별 평생초과발암위해도 비교	40
그림 10. 폐석면광산 인근 지역 거주 어린이(만7-12세)의 생활 활동 시나리오별 일일평균인체노출량 비교	42
그림 11. 폐석면광산 인근 지역 거주 어린이(만7-12세)의 생활 활동 시나리오별 평생초과발암위해도 비교	43
그림 12. 폐석면광산 인근 거주 주민의 주요 노출 행태별 위해 기여율 비교	48
그림 13. 폐석면광산 인근 거주 주민의 노출 시나리오별 위해 기여율 비교	49
그림 14. 폐석면광산 인근 거주 성인의 흡입 위해도에 영향을 미치는 노출 인자의 민감도 분석	51
그림 15. 폐석면광산 인근 거주 성인의 흡입 위해도에 영향을 미치는 노출 인자 중 석면 농도를 배제한 조건에서의 민감도 분석	52

그림 16. 폐석면광산 인근 거주 어린이의 흡입 위해도에 영향을 미치는 노출 인자의 민감도 분석	54
그림 17. 폐석면광산 인근 거주 어린이의 흡입 위해도에 영향을 미치는 노출 인자 중 석면 농도를 배제한 조건에서의 민감도 분석	55

국문 요약

이 연구는 폐석면광산 지역에서 석면에 의한 위해성을 분석하기 위하여 먼저 폐석면광산 인근 지역의 대기과 토양 중의 석면 분포 특성을 분석하고, 지역 거주민의 생활패턴과 연계하여 인체 노출량 산정 및 거주주민의 석면에 의한 암 발생 위험도를 분석·평가하였으며, 본 분석 결과를 바탕으로 석면에 의한 위험도가 높은 폐석면광산 지역의 경우 지역주민의 건강보호를 위하여 사전예방 및 효율적 관리를 위한 정책적 방안을 마련하고자 하였다.

폐광산 분석 대상 지역은 2010년부터 2012년까지 환경부에서 조사한 폐석면광산 지역 중 과거에 석면 채광이 활발했던 지역과 토양 중 석면의 함유량이 높은 폐광산 지역을 집중분석 대상으로 선정 하였다.

조사대상 지역의 석면 오염 상태를 조사한 결과, 토양의 경우 광산과의 이격 거리별 토양 중 석면의 함유율은 유의한 변화는 없는 것으로 분석되었고, 토양 주변의 공기 중 농도 분석 결과에서도 광산 지역 보다는 주거지 및 농경지에서 더 높은 석면 농도가 조사되어 거리에 따른 유의성은 크지 않은 것으로 나타났다. 생활 활동 시나리오(ABS) 분석을 통한 대기 중 석면 농도 분석 결과 부지특성에 따라 차이를 보이고 있으며 마당쓸기와 같이 비산 가능성이 높은 생활환경에서 대기 중 석면의 농도가 높은 것으로 나타났다.

생활 활동 시나리오를 적용한 흡입위해 기여요인을 분석한 결과, 성인의 총 석면 흡입 위험도의 중앙값은 4.09×10^{-4} 이었으며, 어린이(만 7~12세)의 초등학교 기간 동안의 노출로 인한 석면 흡입 위해 수준인 총 위험도의 중앙값은 8.98×10^{-6} 이었다. 성인의 경우 만명당 1명을 초과하는 비율은 99.4%이고, 어린이의 경우 천만명당 1명의 발암 위해를 초과하는 어린이는

노출 인구 중 24.0%로서 잠재적 위해요인으로 확인되었다.

주요한 노출형태 및 인자 분석 결과, 마당쓸기와 같이 비산 가능성이 높은 생활형태가 주요한 위해도 기여 인자로 작용하는 것으로 나타났으며, 민감도 분석에서도 마당쓸기, 오토바이타기, 김매기와 관련된 노출 시간 및 빈도 등이 위해도에 영향을 미치는 주요 노출형태와 노출 계수로 나타났다. 세부 생활 활동별로 위해 기여율을 비교해 보면, 성인은 마당쓸기로 인해 62%, 주거지의 여가 및 생활에 의해 19%, 오토바이 타기가 5%, 도보 3%, 그 외 농업 활동은 각 2% 정도가 위해도에 기여하고 있었다.

미국에서는 폐석면광산 지역 및 자연발생 석면 지역의 경우 긴급대책과 예방대책을 정부 및 개인 등의 역할로 구분하여 수행하고 있다. 토양 표면 강화 및 습윤화, 초목 심기와 같은 오염원을 차단할 수 있는 적극적인 행위와 토양 작업 등과 같은 석면 비산행위를 관리하는 방안 등을 수립하여 시행하고 있으며, 한편으로는 주기적인 모니터링을 실시하여 주민 건강 보호에 신경을 쓰고 있다.

국내의 경우 정부에서는 비산 석면을 관리할 수 있는 적극적인 대책 수립이 필요하다. 해당 지역의 비포장도로에 대한 포장사업을 꾸준히 하게 진행할 필요가 있으며, 해당지역 주민을 대상으로는 주기적인 건강영향 조사를 실시하여야 한다. 또한 토양 중 석면의 함유량이 높은 지역의 경우 오염 토양의 정화 처리 등을 실시 할 필요가 있으며 이들 지역에 대한 종합적인 정밀 조사를 재 실시하는 것이 타당 할 것으로 판단된다.

중심어 : 폐석면광산, 생활 활동 시나리오, 위해성 평가

I. 서 론

석면은 우수한 물리화학적 특성으로 인하여 여러 산업 분야에서 다양하게 사용되어져 왔다. 특히 내열성, 내마모성, 윤활성, 높은 인장력으로 인하여 건축분야의 건축용 판재, 내화피복 재료등과 섬유산업의 내열성 및 자동차 마찰재 등에 주로 사용되어 왔다. 그러나 2006년 산업안전보건관리법의 개정에 따라 석면의 수입, 유통, 제조 및 사용이 금지되어 왔다.

석면은 상용적인 용어로 자연에서 발생하는 실리카 함유 광물(규산염 광물)로 사문석 계통의 백석면(Chrysotile)과 각섬석 계통의 청석면(Crocidolite), 갈석면(Amosite), 액티노라이트(Actinolite), 앤소필라이트(Anthophyllite), 트레몰라이트(Tremolite)를 일컫는 용어이다.

국내에서 사용된 대부분의 석면은 캐나다 등의 외국에서 수입하여 사용하여 왔다. 그러나 1980년대 중반까지 충남 보령에서 각섬석계 석면을 약 7,600톤 정도를 채광하였으며, 충남 홍성 지역에서 2만4천톤 정도의 사문석계 석면을 채광하였다. 당시 국내의 연간 석면 사용량이 10만톤을 상회하였기 때문에 국내에서 채광된 석면은 전체 석면 사용량의 10% 미만이었다(석면의 생성환경 및 산출형태, 석면아카데미, 2010).

캐나다 및 러시아 등에서 가격이 저렴하고 품질이 우수한 석면의 수입이 증가함에 따라 국내 석면광산의 경제성이 상실되었고 종국적으로 80년대 중반부터 90년대 초반까지 폐광의 절차를 밟게 되었다. 폐석면광산 지역의 경우 대부분 석산 골재의 채취와 동일하게 표면에서 깎아 내려가는 방식에 의한 채광이 이루어짐에 따라 광산이 폐광되었다 할지라도 대기 또는 지표면에 석면암이 노출되어 있을 가능성이 높다고 할 수 있다.

외국의 사례를 보면 이탈리아와 프랑스의 백석면 광산주변의 농도는 각각 2.5f/L, 1~17f/L로 나타났으며, 캐나다의 광산 지역의 경우 1974년에는 46f/L, 1984년에는 10f/L로 나타났다(Chiappino et al, 1991; INSERM paris, 1997; Camus et al, 1998). 세계 최대 사문석계 석면광산인 캐나다 퀘벡주 Thetford 광산지역의 10km 이내의 석면의 농도를 측정한 결과 1 f/cc로 매우 높게 존재하고 있었다(Camus et al., 1998).

석면 노출에 의한 건강문제중의 대표적인 사례는 1965년 영국 런던에서 76건의 악성 중피종 중 약 36건이 석면을 취급하는 근로자의 가족들에서 발생한다고 보고하였고, 이탈리아 석면 시멘트 공장 반경 10km까지 중피종의 발생율이 증가하는 것으로 나타났으며, 일본의 경우에도 석면을 사용하는 kubota 석면 시멘트 회사 주위의 주풍 방향에 따라 2.5km까지 발생율이 증가함이 보고된바 있다(Newhouse et al., 1965; Maule et al., 2007; Kurumatani et al., 2008).

석면광산 및 석면 취급 공장으로부터 파생되는 석면의 노출 위험도 양상은 다르게 나타날 수 있으며, 제품을 도로에 포장하거나 정원등에 가져다가 사용하여 발생하는 경우도 있고, 공기중의 배출로 인한 노출도 있어 인자가 다를 수 있으나 이탈리아에서 공기확산 모델을 수행한 예를 볼 때 배출된 공기 중의 석면에 의한 노출로 인한 경우에도 10 km 정도의 거리까지 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다(Maule et al., 2007).

상기의 여러 가지 국내외 사례와 역학 조사를 실시한 결과 국내의 경우에도 폐석면광산 주변 지역의 토양과 대기중의 공기에서 지속적으로 석면이 노출되고 있는 것으로 보고된바 있으며, 이에 따라 정부에서는 2011년 석면광산 및 석면 취급 사업장 작업자 인근 거주 지역 주민 등의 피해

구제를 위하여 석면 피해구제법을 제정한바 있다.

석면광산으로 인한 피해 가능성은 첫째, 석면광산 가행 중 광산 노동자 및 주변 지역 주민의 직접적 피해, 둘째 폐광 후 광미적치장 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 석면광산 개발이 시작되었으며 해방당시 전국의 석면광산은 총 28개로 남한에는 충북 제천 7개, 충주 2개 광산과 충남 서산 2개, 당진 1개, 광천 1개, 김화 2개, 영월 1개의 광산이 보고되고 있다. 대표적인 석면광산은 백석면 광산인 충남 홍성 지방의 광천 석면광산으로 1944년 백석면 4,815톤을 생산한 바 있으며, 근로자수가 약 1,100명에 이르고 지역주민이 약 2,000명 정도가 관련되었다(한국의 지질과 광물 자원, 1991).

따라서 본 연구는 2010년 환경부에서 실시한 폐석면광산 주변 정밀조사 결과를 바탕으로 석면광산 및 지역의 토양과 대기중의 석면 분포 형태를 재분석하고 기후조건, 거주민들의 생활 패턴등과 연계한 위해도 평가를 실시하여 최종적으로 석면광산의 안전적 관리를 위한 대안을 제시하고자 하였으며, 이를 위하여 다음과 같은 내용으로 연구를 수행하였다.

첫째, 2010년 환경부에서 조사한 폐석면광산 주변 지역의 정밀조사 자료 중 폐석면광산 인근지역의 토양과 대기 중의 석면 함유량 조사 결과를 분석하였다. 폐석면광산 주변 등 지역별 토양 중에 포함된 석면의 함유량 조사를 실시하였으며, 대기 공기 중의 석면 농도도 함께 분석하여 폐석면 광산 지역으로부터 이격된 거리에 따른 석면 분포 현황을 조사하고, 이에 따른 위해도 산출을 실시하였다.

둘째, 거주민의 생활 패턴에 따른 석면의 노출 정도를 파악하기 위하여 시나리오 별로 구분된 각각의 석면 노출 농도 자료를 활용하여 광산별 노출 농도를 통계적으로 재분석하였다.

셋째, 토양 및 공기 중 석면 함유량과 시나리오별 석면 위해도 분석을 실시하고자 하였다. 위해성 평가는 성인 및 어린이로 구분하여 실시하였으며, 동일 사례에 대한 대책 수립을 위하여 미국 엘도라도 지역 등에서 실시한 위해성 평가와 대책 등에 자료를 바탕으로 국내 석면 광산의 관리 정책을 제안하고자 하였다.

넷째, 폐석면광산 관리 대책의 수립은 정부, 지자체, 해당지역 주민, 전문 관리 기관 등 여러 관련 주체가 있을 수 있다. 따라서 폐석면광산 지역이 석면의 위해성이 있는 것으로 나타날 경우 각 주체별 역할과 이를 조화롭게 관리할 수 있는 방안 등을 제시하고자 하였다.

II. 연구내용 및 방법

1. 연구내용

본 연구는 폐석면광산 인근 지역의 석면 분포 현황과 이러한 석면으로 인하여 발생할 수 있는 인체 위해 정도를 분석하고 이에 따른 대책 수립을 제안하는 것을 주요 내용으로 하고 있다. 이를 위하여 2010부터 2012년까지 환경부에서 수행한 “폐석면 광산 주변 토양·지하수 석면함유 정밀조사” 내용 중 광산 주변 지역의 토양의 석면 함유량, 주변 대기 중 석면 함유량, 그리고 이를 근거로 하여 구성한 시나리오별 주민의 석면 노출 조사 자료를 바탕으로 위해도 분석을 실시하고 이에 따른 폐석면광산 관리 대책을 제안하고자 하였다.

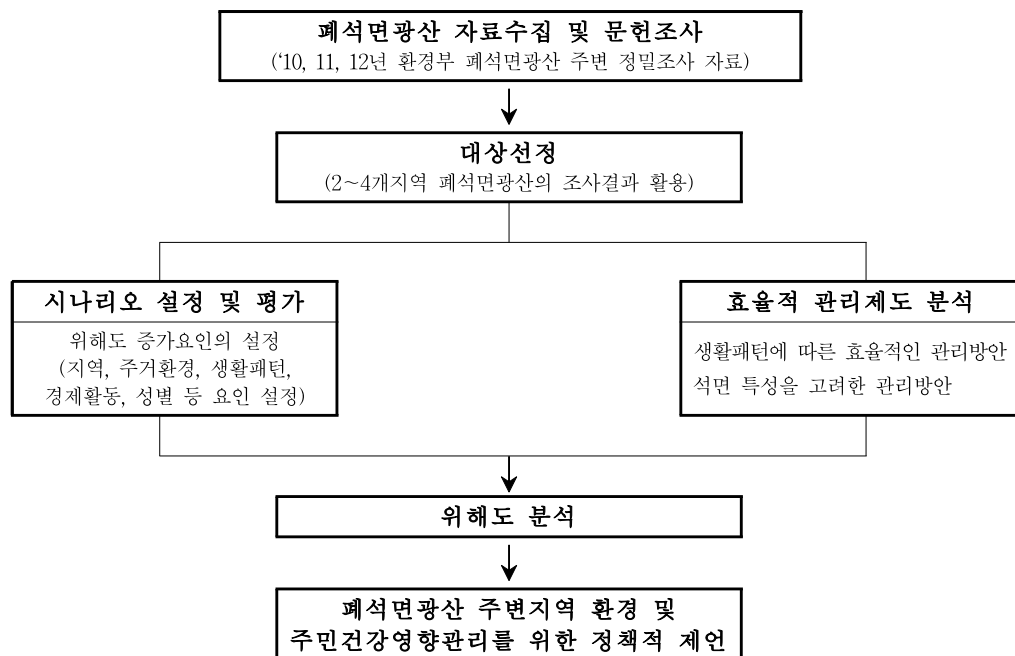


그림 1. 연구의 틀.

2. 연구 방법

가. 국외 사례 조사 분석

토양 중에 포함된 석면에 의한 노출 위험도를 조사하고 이에 대한 관리 대책을 제시한 사례로는 미국 El Dorado Hills에서의 토양 및 주변 대기 중 석면 노출 수준을 확인하고 이로 인한 인체 수준을 예측하여 관리 방안을 제시한 것이 대표적이라 할 수 있다.

토양에 의한 석면의 위험도 평가를 위하여 El Dorado Hills에 있는 지역 공원, 뉴욕 시내 자연 산책로 및 3개의 학교에서 ABS(Activity-Based Sampling) 평가를 수행하고, 결과 해석을 위하여 고정 지점에서의 대기 및 토양 중 석면 측정을 병행하였으며, 그 외 기상자료 및 비디오 평가도 함께 실시하였다. 비교 자료로서 인근 석면 노출 가능성이 적은 지역에서의 석면 측정도 실시한바 있다.

미국 중앙 캘리포니아 San Benito and Fresno에 위치하고 있는 Clear Creek Management Area(CCMA)는 사문석이 자연적으로 발생하여 석면 노출이 유발되는 지역으로 이 지역에 대해서도 El Dorado Hills에서의 방법과 동일한 조사를 실시하였다.

이들 지역에서의 위해성 평가 방법은 석면 노출 평가를 위하여 대기 중 석면의 실내외 모니터링과 이를 통한 오염원의 평가와 거주자의 석면 노출 위험도 가능성을 평가하는 방식으로 진행되었다.

나. 국내 폐석면 현황 조사 자료의 수집

우리나라에서 채광이 이루어진 것으로 알려진 석면광산은 총 22개로 이중 다수가 충청남도 홍성과 보령지역에 분포되어 있으며 이들 폐석면광산 주변일부 지역에서 폐암 등 석면피해 의심자로 추정되는 사례가 발생함에 따라 폐석면 광산 지역의 석면 오염원 및 지역주민에 대한 건강 보호대책 마련의 필요성이 제기 된 바 있다. 이에 따라 환경부에서는 2009년 전국 22개 폐석면광산을 대상으로 토양·지하수 석면 함유 실태조사를 실시하여 정밀조사 우선순위를 선정한 바 있으며 2010년부터 2012년까지 충남북, 경기 지역의 폐석면광산을 대상으로 정밀조사를 실시한 바 있다.

본 연구는 환경부 조사 자료 중 충남 지역 2개 폐석면 광산 지역 조사 자료를 활용하여 거주민의 석면 노출농도와 위해도 분석을 실시하였다.

표 1. 자료수집 대상 폐석면광산 특성

구분	석면의 종류	광업권소멸	채굴량
A광산	각섬석	1985년	-
B광산	사문석	1980년	5,370톤

다. 집중 분석 대상 선정

본 연구에서 분석한 대상 지역은 과거에 석면 채광이 활발했던 지역으로 다음과 같은 사유로 대상 지역을 선정하여 분석을 실시하였다.

첫째, 국내 폐석면광산은 주로 충남북 지역에 위치해 있다. 특히 과거 석면 채광량이 가장 많았던 지역이 상대적으로 석면 노출 가능성이 높다는 판단 하에 이들 지역을 중심으로 지역 선정을 실시하였다.

둘째, 2009년 환경부에서 실시한 폐석면광산 토양 지하수 정밀분석 대상 선정 과정에서 가장 조사가 시급한 지역으로 선정된 곳이 2010년도 조사 분석 지역이다. 본 연구는 2010년 조사 지역을 대상으로 선정하였다. 즉, 토양 중 석면의 함유량이 가장 높은 지역이라 할 수 있다.

셋째, 석면의 종류는 크게 각섬석과 사문석으로 구분할 수 있으며, 따라서 석면의 종류별 분석이 가능하도록 대상 설정을 하였다.

상기와 같이 집중 분석 대상 지역 선정을 위한 기준을 설정한 후 2010년부터 2012년까지 환경부에서 조사한 폐석면광산 주변 토양·지하수 석면 함유 정밀조사 자료를 대상으로 분석 지역을 선정하였다. 또한 선정과정에서 향후 주민의 생활 활동 시나리오에 따른 노출량 및 위해도를 효율적으로 분석하기 위하여 충분한 조사 분석 자료가 있는 지역을 대상으로 선정하였다.

라. 수집 자료 분석

본 연구에서는 폐석면광산 지역 주민의 석면 노출의 정도와 이에 따른 위험도 평가를 위하여 생활환경에서의 석면의 존재 정도와 이를 근거로 한 대기 중의 석면의 농도, 그리고 생활환경 과정에서 노출 될 수 있는 석면의 양 등을 고려하여 최종적인 위험도 산정을 실시하고자 하였다. 이를 위하여 기존 환경부 조사 자료를 재분석하여 연구를 진행하였다.

(1) 토양

환경부에서 조사한 토양 분석 자료 중 폐석면광산을 중심으로 거리에 따른 토양 중 석면의 농도를 분석하였다, 폐석면광산을 중심으로 1.0km 미만, 1.0~2.0km 미만, 2.0km 이상 지역을 구분하여 토양 중 석면의 함유량을 재분석하였다. 이는 차후 실시하는 생활패턴에 따른 석면의 위험도 산정과 관련이 있기 때문에 실시한 것이다. 각 거리별 토양 중에 함유된 석면의 농도를 분석하고 전체적인 평균과 비교하여 거리에 따른 노출 위험도를 분석하고자 하였다. 특히, 동시에 실시하는 ABS 분석 결과와 상관성 분석을 위한 자료로 활용할 수 있다. 토양 중의 석면의 농도에 따라 활동에 따른 대기 중 석면의 비산이 다르게 나타날 수 있기 때문에 이에 대한 재분석을 실시하였다.

(2) 대기

대기 중 석면 농도의 측정은 지역 특성 분석을 통하여 대상지를 설정하고 분석을 실시하였다. 대상은 먼저 실내와 실외로 구분하였으며, 주변 지역이 농경지 구성 비율이 높음에 따라 농경지, 주거지, 공공용지, 기타로 구분하여

실외공기를 수집한 결과를 활용하였으며, 실내에 사람들이 많이 모이는 공공이용시설을 중심으로 분석을 실시하였다. 위해도 산정의 신뢰성을 높이기 위하여 조사된 폐석면광산 지역의 모든 데이터를 활용하여 분석 작업을 실시하였다. 또한 대기 중 석면 농도의 분석 방법 중 PCM 방법과 TEM에 의한 조사 분석 자료를 동시에 분석하여 노출량 및 위해도 평가 비교 자료로 활용하고자 하였다. 농도 분석에 사용된 공기 시료 개수는 농경지의 경우 71개, 주거지는 20개, 광산 주변 지역의 경우에는 6개의 시료를 대상으로 분석을 실시하였다.

(3) 생활 활동 시나리오별 석면 노출 특성

생활 활동별 석면 노출량 및 위해도 산정을 위하여 생활 활동 시나리오에 따른 공기시료를 채취한다. 본 연구에서는 조사 대상 지역 전체를 대상으로 각 생활 활동 시나리오별 공기 중 석면 농도, 표준 오차, 최소값 및 최대값을 재정리하여 분석을 실시하였다. 대상 시료에 대한 분석은 일반 대기 중 석면 함유량 측정과 동일하게 PCM과 TEM 농도를 모두 이용하였다.

생활 활동 시나리오 근거 시료 채취는 석면 비산 특성을 파악하기 위하여 우기와 건기로 시간적인 대상을 구분하였고, 거주 주민들의 생활패턴 조사를 통하여 도출된 광산별 주요 일상생활활동, 이동수단 및 농업활동에 대한 시나리오에 따른 시료 채취 결과이다. 활동근거 시료채취 시나리오는 『석면광산 등 석면발생지역의 토양환경 관리지침(환경부, 2010)』을 활용하여 조사된 자료를 이용하였다. 생활 활동 시나리오별 공기 중 석면 농도는 성인 및 어린이의 호흡 위치를 모사하기 위하여 멤브레인 필터를 시료채취자의 어깨 및 허리 높이에 설치하여 채취하였고, 채취된 공기량은 약 400 L 이상 채취하는 것을 기본으로 측정, 평가된 자료이다.

마. 수집 자료에 의한 폐석면광산 인근의 거주 주민의 위해성 평가

(1) 인체 노출 평가 방법

대상 지역이 석면 노출 위험성이 있는 곳으로 평가되었다면, 오염원 및 활동 지역을 세분화하여 환경 노출 평가를 실시한다. 오염원 주변의 대기 중 석면 조사는 폐석면광산 또는 석면 함유 지질대의 토양 중 석면이 대기 중으로 비산되어 주변 환경에 얼마나 확산되는지를 평가하기 위함이다. 토양 중 석면의 비산 영역 평가는 다음의 두 가지 시나리오에 의해 측정할 수 있다.

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

- 일반노출(normal exposure) 시나리오 : 오염원을 포함한 조사 대상 지역을 일상의 기상 상태 및 환경 조건에서의 대기 중 석면 포집 및 측정
- 최대노출(High-end exposure) 시나리오 : 강풍, 개간 활동 등의 극한 환경 또는 먼지가 많이 발생하는 활동 시 토양 중 석면의 비산 정도를 평가하기 위해 오염원을 10×10 m 간격으로 분획하고, 각 구획에서 인위적으로 땅을 긁어 흙먼지를 유발시킨 후, 일반 시나리오에서의 측정 지점에서 대기 중 석면 포집 및 측정. 이때 오염원에서 인위적인 흙먼지 발생을 위해 석면 보호 장비를 갖춘 연구원이 10×10 m 간격의 격자마다 한명씩 배치하고, 격자의 임의의 꼭짓점에서 약 15분 동안 땅을 긁은 후, 시계방향으로 90도 회전하여 다음 격자 꼭짓점으로 이동 후, 다시 15분 동안 땅을 긁는 행동을 최소 2시간 동안 반복하면서 대기 중 시료를 채취한다.

오염원 주변의 실내 공기 중 석면 조사는 오염원으로부터 비산된 석면이 주요 생활공간인 실내로 유입되는 정도를 평가하기 위함이다. 오염원 주변의 토양 중 사람이 활동에 의해 직접적으로 접촉하여 노출될 수 있는 정도를 평가하기 위해 대상 지역의 다양한 토양에서 석면 농도를 측정한다.

대상 지역에서 생활함으로써 석면이 함유된 환경 매체와의 접촉에 의해 사람에게 직접 노출될 수 있는 수준을 평가하기 위해 다음의 노출 매체 및 경로를 고려하여 측정한다.

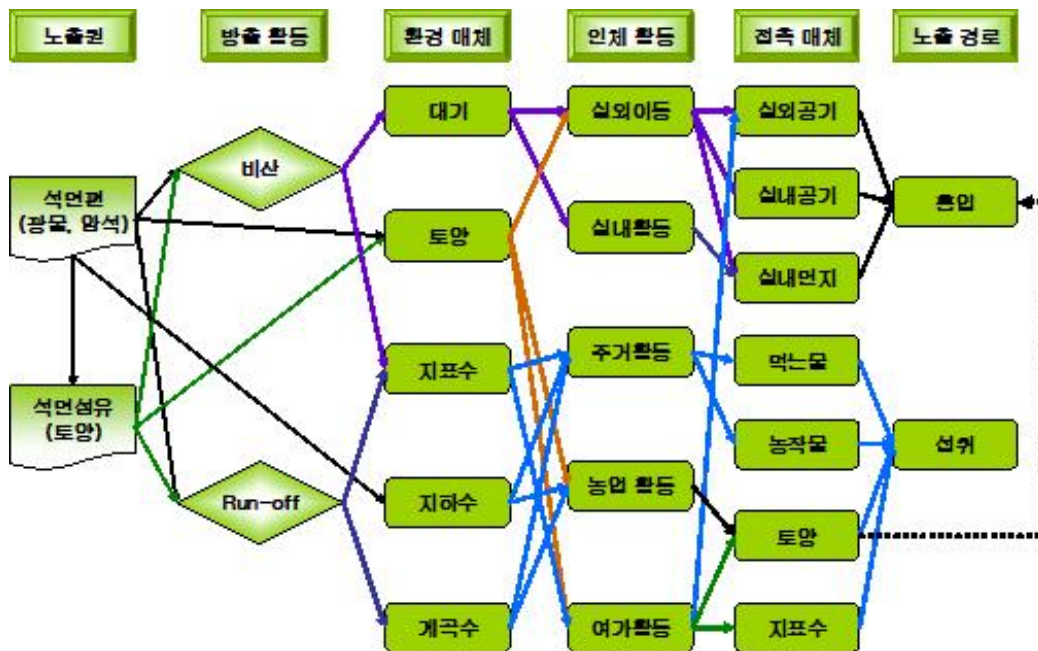


그림 2. 석면의 잠재적인 인체 노출 매체 및 경로

(출처: Asbestos-contaminated soil guidance document, Colorado Department of Public Environment, 2007)

(2) 생활 활동 시나리오(ABS)에 의한 석면 노출 시나리오

ABS 시료 채취를 위한 노출 시나리오는 다음의 사항을 고려하여 결정한다.

- 오염원

: 석면 폐기물 매립 등의 처리 활동

- 주거 지역

: 주요 활동 공간 특성 조사 - 주택, 정원, 학교, 도로, 농경지 등

: 걷기, 달리기 등 실외 이동 활동

: 실내 생활

: 집 앞 소규모 정원 관리

: 토지 개간 등의 농업 활동

: 자전거, 이륜자전거 등의 개방형 이동 수단 이용

: 어린이의 흙 놀이 활동

: 기타 석면 노출 관련 특이적 활동

- 여가 활동 지역

: 주요 활동 공간 특성 조사 - 산책로, 공공체육시설, 여가활동 공간,
비포장도로 등

: 걷기, 달리기 등 실외 이동 활동

: 기타 석면 노출 관련 특이적 활동

ABS 시료 채취 계획 수립을 위해 다음의 “ABS 관련 노출 시나리오 점검표”를 작성한 후, 구체적인 평가 계획을 작성한다. 대상 지역에서의 시설 및 노출 특성을 고려하여 작성된 “ABS 관련 노출 시나리오 점검표”에 의해 평가하고자 하는 ABS 노출 시나리오 및 수용체 특성이 결정되면 다음의 사항을 고려하여 시료 채취를 수행한다.

표 2. 대상 지역의 특성을 고려한 생활 활동 시나리오(ABS) 관련 노출 시나리오 점검표 및 시나리오 선정 결과

구조물	노출 시나리오	수용체				본 연구 대상 시나리오
		지역 주민		외부인		
		어린이	성인	어린이	성인	
오염원						
폐석면광산	개간				○	
	매립				○	
석면 토양	개간				○	
	매립				○	
기타 오염원	개간				○	
	철거				○	
주거 환경						
주거시설	실내 활동	○	○			●
정원	원예활동		○			
	놀이활동	○				
교육시설	실내 활동	○				
	실외 체육 활동	○				●
의료시설	실내 활동	○	○	○	○	
농업시설	경작 활동		○			
실내공공시설 (회관 등)	실내 활동	○	○			
이동 환경						
도로						●
자전거						●
이륜전동차(개방형)						●
여가 활동 환경						
실외공공시설 (공원 등)	걷기	○	○	○	○	●
	뛰기 (조깅)		○			
	놀이활동	○		○		●
공공체육시설	걷기	○	○	○	○	●
	뛰기 (조깅)	○	○	○	○	
	체육 활동	○	○	○	○	●
등산로	걷기	○	○	○	○	
	뛰기	○	○	○	○	
하천여가시설	걷기	○	○	○	○	
특수여가시설	놀이 활동	○	○	○	○	

(3) 인체 노출량 산정

대상 지역에서의 환경 및 인체 노출 매체별 석면 농도 측정 결과와 다양한 노출 행태 관련 인자들에 대한 조사 자료를 이용하여 석면의 인체 노출량을 산출하였다. 이때 고려해야 하는 수용체는 다음과 같다.

- 대상 지역에서의 상시 거주 어린이 및 성인
- 대상 지역에서의 여가 활동을 위한 방문 어린이 및 성인

대상 지역에서의 다양한 활동을 고려한 인체 노출량 산출 수식은 미국 환경보호청의 'Guideline of risk assessment for superfund site management (US EPA, 1992)'를 인용하였다.

평생일일평균노출량 (mg/kg-day)

$$= \sum_{n=1}^{n=i} \frac{\text{오염도}_i \times \text{일일접촉율}_i \times \text{평균연간노출일}(\text{days/yr}) \times \text{평균노출기간}(\text{yrs})}{\text{평균체중}(\text{kg}) \times \text{평생노출일}(\text{days})}$$

오염도_i : 환경 매체 중 농도 (mg/m³[대기], mg/ℓ[물], mg/kg[토양], mg/kg[식품])

일일접촉율 : 사람이 단위 체중 당 매일 마시거나 섭취하는 공기, 물, 토양, 식품의 양 (m³/day[대기], ℓ/day[물], kg/day[토양 및 식품])

(4) 시간가중치(TWF) 및 흡입단위노출계수(IUR)의 선정

어른의 초과생애발암위해도의 계산을 위해 시간가중치(TWF) 및 흡입 발암 단위 위해도(IUR)의 선정은 ABS시나리오(이동수단 시나리오(오토바이, 경운기, 도보)와 한 지점에서 이뤄지는 농업활동(김매기, 예초기, 흙파기), 여가 및 생활활동(마당쓸기))는 광산지역 주민의 설문조사와 인터뷰내용 및 일반적인 사항과 특성을 근거로 산정한 환경부 자료를 분석하여 활용하였다.

또한, 어린이 초과생애발암위해도의 계산을 위해 오토바이, 도보, 마당 쓸기 시나리오의 경우 직접 특정 활동을 하는 경우 이외 동승한 경우(오토바이)도 고려하여 흡입 발암 단위 위해도(IUR)값을 선정하였으며, 어린이의 흡입 발암 단위 위해도(IUR)값 선정은 일반적인 특성을 근거로 오토바이, 도보 시나리오에 대해 최초노출을 8세, 노출기간은 13세까지를 어린이로 가정하여 노출기간을 총 6년으로 환경부 분석에서 실시하였다. 선정된 어른과 어린이의 시간가중치(TWF) 및 흡입 발암 단위 위해도(IUR)을 정리하면 다음과 같다.

표 3. 생활 활동 시나리오별 노출 시간 및 빈도 조사 자료

시나리오		시료 위치 및 내용	생활 활동 시나리오별 노출 시간 및 빈도					
			전체(평균)		A광산		B광산	
			노출 시간 (hour/day)	노출일 (day/year)	노출 시간 (hour/day)	노출일 (day/year)	노출 시간 (hour/day)	노출일 (day/year)
이동수단	자전거	어른	0.5	128.5			1	257
		어린이	0.5	128.5			1	257
	오토 바이	어른	1	225.05	1	239.6	1	210.5
		어린이	1	225.05	1	239.6	1	210.5
	경운기	어른	1.75	92.95	2.2	77.4	1.3	108.5
		어린이	0	0				
	도보	어른	1.85	340.7	1.4	333.2	2.3	348.2
		어린이	1.85	340.7	1.4	333.2	2.3	348.2
농업활동	김매기	어른	4.1	89.5	4.7	67.1	3.5	111.9
	예초기	어른	2.7	36.6	2.3	35.2	3.1	38
	흙파기/ 채굴	어른	3.4	75.8	4.3	52.4	2.5	99.2
여가 및 생활	체육 활동	어른	0.6	73			1.2	146
		어린이	0.6	73			1.2	146
	마당 쓸기	어른	1	158	1	161	1	155
		어린이	1	158	1	161	1	155
	주거 활동	어른	18.7	365	19.5	365	18.0	365
		어린이	21.1	365	21.6	365	20.3	365

표 4. 첫 노출 연령 및 노출 기간을 보정·외삽한 흡입 발암 단위 위해도, IUR_{LT} (US EPA)

Age at Onset	Exposure Duration (years)																		
	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	20	24	25	30	40	50	60	LT
0	1.0E-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	1.1E-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	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	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	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	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	9.2E-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	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	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	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	8.5E-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	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	8.2E-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	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	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	8.3E-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	7.6E-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	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	7.3E-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	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	7.0E-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	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	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	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	6.5E-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	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	6.3E-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	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	6.1E-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	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	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	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	5.6E-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	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	5.4E-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	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	5.2E-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	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-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	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-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	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-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	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	4.5E-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	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-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	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-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	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	4.1E-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	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-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	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	3.8E-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	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	3.7E-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	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	3.5E-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	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	3.4E-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	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	3.3E-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	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	3.2E-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	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	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	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	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	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	2.9E-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	2.7E-02	2.9E-02	3.2E-02	3.5E-02	3.5E-02	3.8E-02	4.0E-02	4.2E-02	4.3E-02	4.3E-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	2.5E-02	2.7E-02	3.1E-02	3.3E-02	3.3E-02	3.6E-02	3.8E-02	3.9E-02	4.0E-02	4.1E-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	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	2.6E-03	5.0E-03	7.2E-03	9.3E-03	1.1E-02	1.3E-02	1.6E-02	1.9E-02	2.1E-02	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	2.5E-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	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	2.4E-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	2.1E-02	2.3E-02	2.5E-02	2.7E-02	2.7E-02	2.9E-02	3.1E-02	3.2E-02	3.2E-02	3.2E-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	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	1.5E-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	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

(5) 발암 위험도 예측

석면의 흡입 노출에 의한 폐암 및 중피종 발생 위험도는 다음의 수식에 의해 산출하였다.

흡입 평생평균발암위험도(ELCR)

$$= \text{공기오염도}(f/cc) \times TWF \times \text{발암단위위험도}(per(f/cc))$$

ELCR : Excess Lifetime Cancer Risk

TWF : Time Weighting Factor (1년 노출 기간 동안 비연속적 노출 비율)

석면의 흡입 노출이 평생 동안 매일 이루어질 때는 TWF(Time Weighting Factor)가 “1”이며, 간헐적으로 이루어질 경우에는 다음과 같은 수식에 의해 TWF를 이용한 노출시간 보정 과정이 수행된다.

TWF (Time Weighting Factor, Unitless)

$$= \frac{\text{노출시간}(hrs/day)}{24hours} \times \frac{\text{노출빈도}(days/year)}{365days}$$

예를 들면 타지로의 여행 등으로 인해 대상 지역에서의 연간 거주 기간이 350일이며, 거주 기간 동안은 매일 숨 쉬며 살기 때문에 일일 24시간 노출

될 경우의 TWF는 0.96이며, 어린이가 학교 운동장에서 흙 놀이를 하루에 2시간 동안, 1년에 350일을 할 때 TWF는 0.08이 된다.

표 5. 노출 시나리오에 의한 시간 보정 계수(TWF) 산출 사례

노출 시나리오	일일 노출 시간 (hrs)	연간 노출일 (days)	TWF
평 생 노 출	24	365	1.000
기 본 거 주 일 수	24	350	0.960
농업활동(김매기)	4.1	89.5	0.042
이동수단(오토바이)	1	225.05	0.025
어 린 이 체 육 활 동	0.6	73	0.005

또한 석면은 잠복기가 길기 때문에 첫 노출 시기의 연령이 얼마냐에 따라 유해 영향 발생 확률이 달라지게 된다. 따라서 흡입 노출에 의한 발암 위해도를 산출할 때, 첫 노출 연령을 고려하여 흡입 발암 단위위해도를 적용하였다.

- 미국 환경보호청에서 제시하고 있는 흡입 발암 단위위해도(IUR) 0.23 per fiber/cc는 평생 노출될 때는 가정하고 있어, 첫 노출 연령이 “0세”이며, 노출 기간이 70년일 경우이다. 첫 노출 연령이 5세이며, 노출 기간이 40년일 때에는 노출 기간이 줄어들기 때문에 IUR_{LTL} 은 0.19 per fiber/cc로 줄어들게 된다. 표 4 에는 첫 노출 연령 및 노출 기간에 따라 보정된 IUR_{LTL} 값을 제시하였다.

평생 석면 누적 노출에 의한 흡입 발암 위험도를 각 노출 시나리오별 흡입 발암 위험도의 총합으로 산출하였다.

흡입 누적발암위해도(ELCRc)

$$= \sum_i \text{공기오염도}_i (f/cc) \times TWF_i \times IUR_{LTL-i} (per(f/cc))$$

ELCRc : the cumulative excess lifetime cancer risk attributed to exposure to mutiple environments or multiple scenarios over the course of the exposure duration of the individual

공기오염도_i : the specific exposure point concentration generated from activity-based sampling for the exposure scenario, i

TWFi : the scenario-specific weighting factor for the exposure scenario, i

IURLTL-i : the inhalation unit risk corresponding to the age at first exposure and exposure duration for the exposure scenario, i

(6) 민감도 분석

생활 활동 시나리오에 따른 노출 인자가 석면 흡입 위해도에 미치는 민감도를 분석하기 위해, 석면농도 및 주요 노출 계수의 확률 분포를 적용하였다.

민감도 분석을 위해 Crystall Ball(Ver. 7.2)을 이용하여 1,000,000회 반복하였으며, 이에 따른 민감도 분석을 수행하였다.

표 6. 인체 위해도 분포 추정을 위한 관련 변수의 확률분포 모형

구분	범위	확률분포
석면 농도	0.0003~0.7384 f/cc	대수정규분포
일일 노출 시간	0.6 ~ 24 시간	- 삼각분포 (Triangular Distribution) - 단일분포 (normal distribution)
연 노출 기간	36.6 ~ 365 일	- 삼각분포 (Triangular Distribution) - 단일분포 (normal distribution)

Ⅲ. 연 구 결 과

1. 폐석면광산 인근지역의 석면 분포 형태 분석 결과

가. 폐석면광산 인근지역 토양의 석면 함유 특성

광산을 중심으로 거리에 따른 토양내 석면 분포를 분석한 결과 채취한 시료 전체적으로 약 0.34 % 정도 석면을 함유하고 있는 것으로 나타났으며, 거리에 따른 시료 분석결과 1.0 km 미만은 0.44 %, 1.0~2.0 km는 0.29 %, 2.0 km 이상은 0.37 %의 농도를 함유하는 것으로 나타났다. 광산별 분석 결과 A 광산은 반경 1 km 이내에서는 0.54 %, 1~2 km 이내는 0.31 %, 2 km 이상은 0.45 %의 토양내 석면 함유 농도를 가지는 것으로 나타났다.

표 7. 폐석면광산의 이격 거리별 토양 중 석면 함유 농도

이격 거리(km)	토양 중 석면 농도(%)		
	전체	A광산	B광산
~1.0km 미만	0.437±0.272 (0.125~1.25) (n=4)	0.542±0.356 (0.125~1.250) (n=3)	0.125 - (n=1)
1.0~2.0km 미만	0.285±0.062 (0.125~0.75) (n=10)	0.312±0.075 (0.125~0.750) (n=8)	0.187±0.063 (0.125~0.250) (n=2)
2.0 km 이상	0.375±0.210 (0.125~1.000) (n=4)	0.458±0.273 (0.125~1.000) (n=3)	0.125 - (n=1)
전 체	0.340±0.078 (0.125~1.25) (n=18)	0.393±0.095 (0.125~1.250) (n=14)	0.156±0.031 (0.125~0.250) (n=4)

(출처 : 환경부 「2010년도 폐석면광산 주변 토양·지하수 석면함유 정밀조사」 보고서 중 토양 측정 자료를 이용하여 산출함)

나. 폐석면광산 인근지역 대기/실내 공기 중 석면 함유 특성 분석

A광산 주변지역에서 일반 대기 중 시료채취 시기는 기상상태(강우) 및 채석장 운영기간 등을 고려하여 5월, 8월, 9월, 10월 실시 하였고, B광산은 8월과 9월, 10월로 나누어 실시하였다. 조사지역의 대기 중 시료채취지점 및 지역구분 현황은 표 8과 같다. 실내공기 시료채취 지역은 주로 다중이용 시설 및 공공이용시설(마을회관, 교회, 상가 등)을 대상으로 8월, 9월, 10월 동안 각각 8개씩 총 16개 시료에 대한 실내 공기 시료채취를 실시하였다.

표 8. 자료 수집 대상 폐석면광산의 조사 시기별 공기 시료수

구분		측정장소	계절별 시료 수			종합
			5월	8월	9월 10월	
전체	대기공기	농경지	11	37	24	72
		주거지	4	10	7	21
		공공용지(학교)	-	2	1	3
		기타(광산주변)	3	5	4	12
	실내공기	공공이용시설	-	16	16	32
A 광산	대기공기	농경지	11	11	11	33
		주거지	4	4	4	12
		기타(광산주변)	3	3	3	9
	실내공기	공공이용시설	-	8	8	16
B 광산	대기공기	농경지	-	26	13	39
		주거지	-	6	3	9
		공공용지(학교)	-	2	1	3
		기타(광산주변)	-	2	1	3
	실내공기	공공이용시설	-	8	8	16

(출처 : 환경부 「2010년도 폐석면광산 주변 토양·지하수 석면함유 정밀조사」 보고서 중 토양 측정 자료를 이용하여 산출함)

분석결과 대기환경보전법에서 규정한 공기중 석면의 농도 기준인 0.01 f/cc를 초과하는 시료는 나타나지 않았다. 모두 0.01 f/cc 미만이었으며, PCM 으로 분석한 결과의 경우 8월을 제외한 5월, 9,10월 분석결과는 모두 검출한계 미만으로 분석되었다. TEM에 의한 분석 결과는 PCM과 반대로 5월에 0.01~0.001 f/cc 함유한 시료가 4개, 9,10월에 1개가 검출되었으며, 8월의 경우 1개 시료에서만 석면이 검출된 것으로 분석되었다. 이는 PCM 분석의 경우 섬유의 수만을 확인할 수 있고 석면의 유무를 검증할 수 없기 때문이다. 8월의 경우 태풍 등의 영향으로 일반 섬유가 많이 함유되어 PCM 수치가 높아진 것으로 판단된다.

표 9. 폐석면광산 인근 지역의 조사 시기별 대기 중 석면 농도 분포

광산	구분	위상차(PCM)(f/cc)				투과전자(TEM)(f/cc)				
		0.1	0.1~0.01	0.01~0.001	검출한계 미만	0.1	0.1~0.01	0.01~0.001	검출한계 미만	검출종류
전체	5월	0	0	0	18	0	0	4	14	각섬석
	8월	0	0	18	36	0	0	1	53	각섬석
	9,10월	0	0	0	36	0	0	1	35	각섬석
A	5월	0	0	0	18	0	0	4	14	각섬석
	8월	0	0	1	17	0	0	1	17	각섬석
	9,10월	0	0	0	18	0	0	1	17	각섬석
B	8월	0	0	17	19	0	0	0	36	
	9,10월	0	0	0	18	0	0	0	18	

(출처 : 환경부 「2010년도 폐석면광산 주변 토양·지하수 석면함유 정밀조사」 보고서 중 토양 측정 자료를 이용하여 산출함)

8월에 채취한 실내 공기 중 시료의 경우 PCM 분석결과 16개 시료 중 4개의 시료에서 0.01~0.001 f/cc 농도의 석면이 검출되었으며 나머지 12개 시료에서는 검출한계 미만으로 나타났다. 9, 10월도 동일하게 나타났다. TEM 분석결과 8월은 3개 시료에서 0.01~0.001 f/cc 석면이 검출되었으나 9, 10월은 모두 검출한계 미만으로 나타났다.

실내공기의 경우 실외와 달리 풍향 및 바람 등 외부 환경의 영향을 많이 받지 않기 때문에 계절적 차이가 크지 않은 것으로 판단된다. 다만 실내 공기의 경우에도 PCM 분석의 경우 보다 TEM 분석에서 더 적은 수의 석면이 검출된 것으로 보아 PCM분석의 경우 일반 섬유를 석면으로 분류할 수 있기 때문에 좀 더 정확한 분석을 위해서는 TEM을 이용하는 것이 좋을 것을 판단된다.

표 10. 폐석면광산 인근 지역의 조사 시기별 실내공기 중 석면 농도 분포

광산	구분	위상차(PCM)(f/cc)				투과전자(TEM)(f/cc)				
		0.1	0.1~0.01	0.01~0.001	검출한계 미만	0.1	0.1~0.01	0.01~0.001	검출한계 미만	검출종류
전체	8월	0	0	4	12	0	0	3	13	각섬석
	9,10월	0	0	4	12	0	0	0	16	
A	8월	0	0	2	6	0	0	2	6	각섬석
	9,10월	0	0	0	8	0	0	0	8	
B	8월	0	0	2	6	0	0	1	7	각섬석
	9,10월	0	0	4	4	0	0	0	8	

(출처 : 환경부 「2010년도 폐석면광산 주변 토양·지하수 석면함유 정밀조사」 보고서 중 토양 측정 자료를 이용하여 산출함)

석면광산 지역의 농경지 주변의 공기중 PCM 분석결과 0.0012 f/cc개의 석면을 함유하고 있는 것으로 조사되었으며, 주거지는 평균 0.0012 f/cc, 광산 주변 지역의 경우 0.0010 f/cc 개의 석면 농도가 검출 되었다. 농경지 및 주거지에 비하여 오히려 석면광산 주변 지역 대기 중 석면의 농도가 더 낮게 분석되었다.

표 11. 폐석면광산 인근 지역 특성별 대기 중 석면의 PCM 농도

	농경지(f/cc)	주거지(f/cc)	광산(f/cc)
전체	1.24E-03±7.55E-05 (0.00035~0.0048) (n=71)	1.21E-03±8.24E-05 (0.001~0.0028) (n=20)	1.03E-03±2.00E-05 (0.001~0.0011) (n=6)
A 광산	1.09E-03±4.15E-05 (0.001~0.0024) (n=33)	1.04E-03±1.19E-05 (0.001~0.0011) (n=11)	1.05E-03±2.89E-05 (0.001~0.0011) (n=3)
B 광산	1.75E-03±1.79E-04 (0.001~0.0048) (n=38)	1.40E-03±2.30E-04 (0.001~0.0028) (n=9)	1.07E-03±3.33E-05 (0.001~0.0011) (n=3)

(출처 : 환경부 「2010년도 폐석면광산 주변 토양·지하수 석면함유 정밀조사」 보고서 중 토양 측정 자료를 이용하여 산출함)

TEM에 의한 분석 결과 농경지 및 석면광산 주변은 PCM과 동등한 수준으로 검출되었으나 주거지의 경우 0.000833 f/cc개가 검출되어 PCM 분석보다 40% 정도 낮은 수치를 나타내었다.

A 광산 지역 농경지의 경우 전체 평균에 비하여 60% 정도 낮은 농도를 보였으며 반대로 B 광산의 경우에는 55% 정도 높은 석면 함유 농도를 나타내었다.

표 12. 폐석면광산 인근 지역 특성별 대기 중 석면의 TEM 농도

	농경지(f/cc)	주거지(f/cc)	광산(f/cc)
전체	1.23E-03±7.47E-04 (0.00035~0.0051) (n=71)	8.33E-04±2.09E-04 (0.00035~0.0045) (n=20)	1.10E-03±4.31E-04 (0.0004~0.0053) (n=6)
A 광산	4.52E-04±3.59E-05 (0.00035~0.0015) (n=33)	4.32E-04±4.87E-05 (0.00035~0.0009) (n=11)	1.42E-03±5.36E-04 (0.00045~0.0023) (n=3)
B 광산	1.88E-03±3.23E-04 (0.00035~0.0051) (n=38)	1.77E-03±6.83E-04 (0.0004~0.0045) (n=9)	1.77E-03±1.37E-03 (0.0004~0.0053) (n=3)

(출처 : 환경부 「2010년도 폐석면광산 주변 토양·지하수 석면함유 정밀조사」 보고서 중 토양 측정 자료를 이용하여 산출함)

다. 폐석면광산 인근지역 활동근거별 공기 중 석면 함유 특성

폐석면광산 주변 지역의 주민의 활동형태에 따른 석면 노출 정도를 분석하기 위하여 이동수단, 농업활동, 여가 및 생활 활동으로 나누어 대기 중 시료채취 지점을 선정하여 시료 채취를 실시하였다. 어른과 어린이의 생활 활동이 다르기 때문에 각각을 대상으로 하였고, 노출 특성은 이동수단에 의한 노출, 농업활동에 의한 노출, 여가 및 생활 활동 시나리오에 의한 노출 등으로 농촌 지역의 특성을 고려하여 설정하였다.

활동근거 시나리오별 석면 노출 특성 중 PCM 분석한 결과 A광산의 경우 오토바이, 김매기, 마당 쓸기와 같이 직접 토양을 다루는 작업에서 가장 높은 노출결과를 나타내었으며, 특히 빗자루를 활용하여 토양을 쓸어내는 마당 쓸기의 경우 0.0366 f/cc개의 석면이 검출되는 것으로 나타나 가장 높은 노출을 보이고 있었다. B광산의 경우는 A광산과 조금 다르게 오토바이, 경운기와 같은 이동수단과 예초기 활용 시 높은 노출을 보였으며 마당

쓸기는 상대적으로 낮은 노출을 나타내었다.

TEM에 의한 분석 결과 A광산의 경우 PCM과 동일하게 마당 쓸기가 0.188 f/cc로 가장 높게 나타났으며 도보, 체육활동 과정이 가장 낮은 노출량을 나타내었다. B광산의 경우 마당쓸기 보다는 오토바이, 경운기, 예초기를 활용하여 작업하는 과정이 오히려 높은 것으로 나타났다. 전체적으로 표면 토양을 긁어내는 마당 쓸기 활동에서 가장 높은 노출량을 보였다. PCM의 경우 0.0199 f/cc, TEM은 0.0947 f/cc개의 노출량을 보였다.

활동 시나리오별 특성과 대기중 석면의 농도 분석방법을 비교 분석한 결과 PCM 방법에 비하여 TEM 분석 방법이 더 미세한 분석이 가능한 것으로 나타났다.

표 13. 생활 활동 시나리오(ABS)에 따른 공기 중 PCM 농도

ABS 특성	전체(f/cc)	A광산(f/cc)	B광산(f/cc)
오 토 바 이	5.05E-03±1.26E-03 (0.0024~0.0336) (n=28)	5.91E-03±2.18E-03 (0.0024~0.0336) (n=16)	3.91E-03±5.62E-04 (0.0026~0.0076) (n=12)
경 운 기	2.81E-03±7.37E-05 (0.0024~0.003) (n=10)	2.70E-03±1.73E-04 (0.0024~0.003) (n=4)	2.88E-03±4.01E-05 (0.0028~0.003) (n=6)
김 매 기	6.40E-03±1.34E-03 (0.0023~0.0412) (n=40)	9.98E-03±2.46E-03 (0.0023~0.0412) (n=20)	2.82E-03±6.22E-05 (0.0024~0.0032) (n=20)
예 초 기	1.10E-02±3.55E-03 (0.0004~0.08) (n=28)	1.84E-02±6.58E-03 (0.003~0.08) (n=14)	3.53E-03±6.07E-04 (0.0004~0.0494) (n=14)
흡 파 기	3.20E-03±2.62E-04 (0.0023~0.0095) (n=28)	3.51E-03±5.14E-04 (0.0024~0.0095) (n=14)	2.90E-03±7.98E-05 (0.0023~0.0032) (n=14)
마 당 쓸 기	1.99E-02±6.64E-03 (0.0028~0.1095) (n=24)	3.66E-02±1.16E-02 (0.0028~0.1095) (n=12)	3.18E-03±2.50E-05 (0.003~0.0381) (n=12)
도 보	3.39E-03±3.08E-04 (0.0029~0.0092) (n=20)	3.05E-03±5.00E-05 (0.003~0.0035) (n=10)	3.72E-03±6.11E-04 (0.0029~0.0092) (n=10)
체 육 활 동	3.17E-03±2.85E-05 (0.003~0.0507) (n=16)	3.14E-03±3.75E-05 (0.003~0.0033) (n=8)	3.20E-03±4.23E-05 (0.003~0.0034) (n=8)
자 전 거	3.15E-03±9.57E-05 (0.029~0.0033) (n=4)	-	3.15E-03±9.57E-05 (0.029~0.0033) (n=4)

(출처 : 환경부 「2010년도 폐석면광산 주변 토양·지하수 석면함유 정밀조사」 보고서
중 토양 측정 자료를 이용하여 산출함)

표 14. 생활 활동 시나리오(ABS)에 따른 공기 중 TEM 농도

ABS 특성	전체(f/cc)	A광산(f/cc)	B광산(f/cc)
오토바이	5.46E-03±2.21E-03 (0.0009~0.0539) (n=28)	5.43E-03±2.18E-03 (0.0009~0.0267) (n=16)	5.51E-03±4.40E-03 (0.0009~0.0539) (n=12)
경운기	3.41E-03±1.29E-03 (0.0008~0.0128) (n=12)	3.85E-03±1.83E-03 (0.0008~0.0114) (n=6)	2.97E-03±1.97E-03 (0.001~0.0128) (n=6)
김매기	3.24E-03±1.14E-03 (0.0008~0.0408) (n=40)	5.48E-03±2.18E-03 (0.0008~0.0408) (n=20)	9.95E-04±2.11E-05 (0.0008~0.0011) (n=20)
예초기	3.63E-03±1.48E-03 (0.001~0.0407) (n=28)	5.24E-03±2.82E-03 (0.0011~0.0407) (n=14)	2.02E-03±8.45E-04 (0.001~0.013) (n=14)
흙파기	2.12E-03±5.60E-04 (0.0008~0.0136) (n=28)	3.24E-03±1.05E-03 (0.0009~0.0136) (n=14)	1.01E-03±2.86E-05 (0.0008~0.0011) (n=14)
마당 쓸기	9.47E-02±4.49E-02 (0.001~0.7384) (n=24)	1.88E-01±8.27E-02 (0.001~0.7384) (n=12)	1.11E-03±8.33E-06 (0.0011~0.0012) (n=12)
도보	1.21E-03±2.94E-05 (0.001~0.0014) (n=20)	1.32E-03±2.00E-05 (0.0012~0.0014) (n=10)	1.09E-03±1.80E-05 (0.001~0.0012) (n=10)
체육활동	1.11E-03±1.43E-05 (0.001~0.0012) (n=16)	1.09E-03±2.27E-05 (0.001~0.0012) (n=8)	1.13E-03±1.64E-05 (0.0011~0.0012) (n=8)
자전거	1.12E-03±4.79E-05 (0.001~0.0012) (n=4)	-	1.12E-03±4.79E-05 (0.001~0.0012) (n=4)

출처 : 환경부 「2010년도 폐석면광산 주변 토양·지하수 석면함유 정밀조사」 보고서 중
토양 측정 자료를 이용하여 산출함

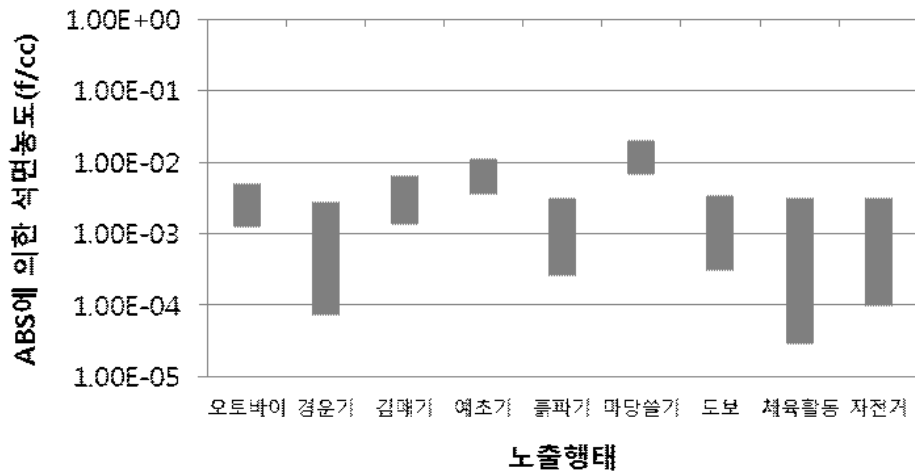


그림 3. 생활 활동 시나리오(ABS)에 따른 공기 중 PCM 농도 비교

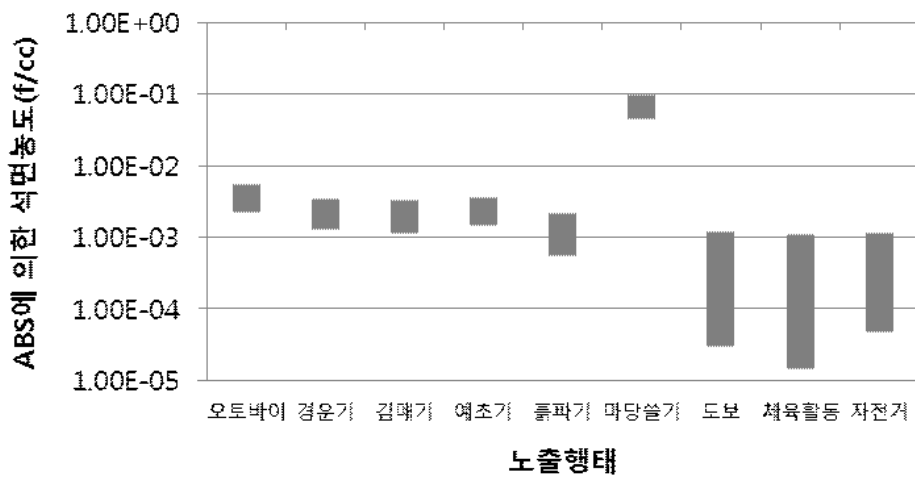


그림 4. 생활 활동 시나리오(ABS)에 따른 공기 중 TEM 농도 비교

2. 폐석면광산 인근 거주 주민의 위해성 평가

가. 부지 특성별 석면 농도에 의한 흡입 위해도

국내 폐석면광산의 대기 중 석면 측정 자료에 의한 부지 특성별 석면 농도는 광산 근접 지역(폐광산 입구에서 반경 ~ 0.5km 이내)은 평균 0.0009 f/cc, 농경지, 주거용지 및 공공용지는 각각 0.0007, 0.0008, 0.0007 f/cc 수준이었으며, 도로 및 공장부지 등의 기타 부지에서는 0.0004 f/cc로 가장 낮은 농도로 조사되었다. 통계적 유의성은 없었으나, 광산 근접 지역이 농경지 및 주거지보다 높은 석면 농도를 보였으며, 포장 도로 등 토양 표면이 콘크리트 등으로 덮여져 있는 기타 부지보다는 토양 표면이 노출되어 비산 먼지 발생이 쉽게 되는 농경지 및 주거지에서 다소 높은 석면 농도가 검출되었다.

표 15. 폐석면광산 부지 특성별 대기 중 석면 농도

구분	대기 중 석면 농도(f/cc) ¹⁾	
	평균	표준편차
광산 (n=14)	0.000900	0.001181
농경지 (n=172)	0.000743	0.001140
주거지 (n=37)	0.000796	0.001137
공공용지 (n=14)	0.000704	0.001093
기타 (포장도로 등) (n=15)	0.000393	0.000032

1) 환경부 「2010년도 폐석면광산 주변 토양·지하수 석면함유 정밀조사」 보고서 중 대기 측정 자료를 근거로 산출



그림 5. 폐석면광산 부지 특성별 대기 중 석면 농도 비교

국내 폐석면광산의 대기 중 석면 측정 자료에 의한 부지 특성별 석면 농도에 의한 성인 및 어린이(만 7~12세)의 석면 흡입 위험도를 산출한 결과, 평균 위험도는 성인 1×10^{-4} 수준, 어린이 1×10^{-6} 수준이었으며, 95번째 백분위 농도값에 의한 위험도는 평균보다 약 10배 증가하였다. 부지 특성별 석면 흡입 위험도는 광산 인근이 다소 높기는 하였으나, 부지 특성별로 뚜렷한 차이는 관찰되지 않았다.

표 16. 폐석면광산 부지 특성별 성인 및 어린이의 석면 흡입 위험도

구분	위해도-평균		위해도-95분위수	
	성인	어린이	성인	어린이
광산	2.07E-04	3.78E-06	1.04E-03	1.89E-05
농경지	1.71E-04	3.12E-06	1.04E-03	1.89E-05
주거지	1.83E-04	3.34E-06	1.04E-03	1.89E-05
공공용지	1.62E-04	2.96E-06	4.30E-04	7.84E-06
기타 (포장도로 등)	9.05E-05	1.65E-06	1.04E-04	1.89E-06

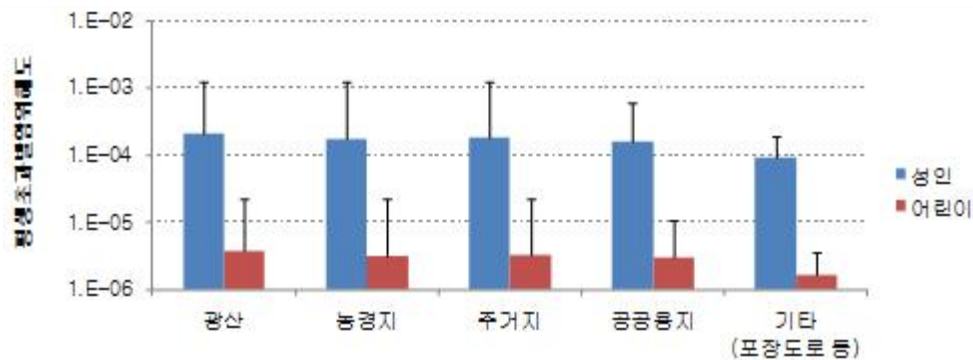


그림 6. 폐석면광산 부지 특성별 석면 흡입 위해도 비교

나. 생활 활동 시나리오에 의한 석면 흡입 위해도

(1) 생활 활동 시나리오별 석면 노출 농도(EPC) 산출

국내 폐석면광산의 정밀 조사 보고서(환경부, 2010) 중 생활 활동 시나리오에 의한 ABS 측정 자료를 수집하여 아래 표와 같이 폐광산 인근 지역에서의 다양한 생활 활동에 따른 개인 흡입 농도를 산출하였다. 폐석면광산 인근 지역에서 발생 가능한 생활 활동 중 마당 쓸기 행동에 의한 호흡기 주변의 공기 중 석면 농도가 0.0947 f/cc로 가장 높았으며, 오토바이 운행 시 호흡기 주변 공기 중 석면 농도는 0.0055 f/cc로 그 다음 순서로 조사되었다. 토양 중 석면이 비산되기 쉬운 활동일수록 호흡기 주변의 공기 중 석면 농도가 높게 측정되는 것을 확인할 수 있었다.

표 17. 생활 활동 시나리오별 호흡 영역의 석면 노출 농도(EPC)

생활 활동 시나리오		특정 활동시 ABS 석면 농도 (f/cc) ¹⁾				
		평균	표준 편차	95번째 백분위수	최고값	최대값
이동 수단	자전거 (n=12)	불검출	-	불검출	불검출	불검출
	오토바이 (n=28)	0.0055	0.0117	0.0260	0.0009	0.0539
	경운기 (n=12)	0.0034	0.0045	0.0120	0.0008	0.0128
	도보 (n=20)	0.0012	0.0001	0.0014	0.0010	0.0014
농업 활동	김매기 (n=40)	0.0032	0.0072	0.0173	0.0008	0.0408
	예초기 (n=28)	0.0036	0.0078	0.0120	0.0010	0.0407
	흙파기/채 굴 (n=28)	0.0021	0.0030	0.0084	0.0008	0.0136
여가 및 생활	마당쓸기 (n=24)	0.0947	0.2200	0.6305	0.0010	0.7384
	주거 활동 (n=37)	0.0008	0.0011	0.0045	0.0004	0.0045
	체육 활동 (n=16)	0.0011	0.0001	0.0012	0.0010	0.0012

1) 환경부 「2010년도 폐석면광산 주변 토양·지하수 석면함유 정밀조사」 보고서 중
ABS 측정 자료를 근거로 산출

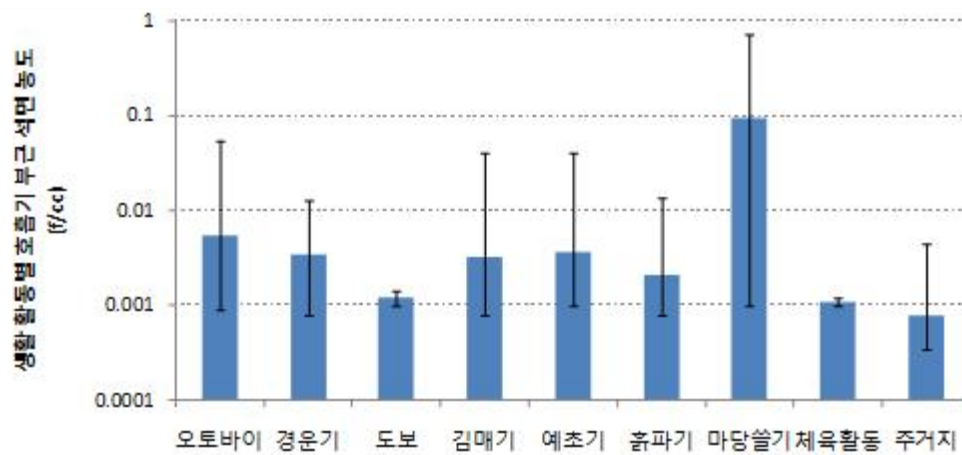


그림 7. 생활 활동 시나리오별 호흡 영역의 석면 농도(EPC) 비교

(2) 생활 활동 시나리오별 석면 흡입 위험도 산출

(가) 성인의 평생초과발암위해도

위해도 분석을 위하여 활동근거 시나리오별 각각의 일일 평균 노출량 산정을 실시한 결과 성인의 경우 주거지에서는 평균 0.00062 f/cc의 석면이 노출되었으며, 최대 0.0035 f/cc, 최소 0.0003 f/cc로 나타났다.

마당 쓸기의 경우 0.0017 f/cc개의 평균 노출량을 보여 일일평균 가장 높은 노출이 일어났다. 성인의 일일 평균 노출 총량을 합산한 결과 0.0005 ~ 0.0211 f/cc의 석면이 노출되었고, 평균적으로 0.003 f/cc의 석면에 노출 되는 것으로 나타났다.

표 18. 폐석면광산 인근 지역 거주 성인의 생활 활동 시나리오별 일일평균 인체노출량 산출

	노출특성	일일평균 인체 노출량(f/cc)			
		평균	95%	최소	최대
이동 수단	오토바이	1.40E-04	6.68E-04	2.31E-05	1.38E-03
	경운기	6.33E-05	2.23E-04	1.49E-05	2.38E-04
	도보	8.67E-05	1.01E-04	7.20E-05	1.01E-04
	소계	2.90E-04	9.92E-04	1.10E-04	1.72E-03
농업 활동	김매기	1.36E-04	7.25E-04	3.35E-05	1.71E-03
	예초기	4.09E-05	1.36E-04	1.13E-05	4.59E-04
	흙파기	6.24E-05	2.48E-04	2.35E-05	4.00E-04
	소계	2.39E-04	1.11E-03	6.83E-05	2.57E-03
여가 및 생활	마당쓸기	1.71E-03	1.14E-02	1.80E-05	1.33E-02
	주거지	6.20E-04	3.50E-03	2.72E-04	3.50E-03
	체육활동	5.53E-06	6.00E-06	5.00E-06	6.00E-06
	소계	2.34E-03	1.49E-02	2.95E-04	1.68E-02
총노출		2.86E-03	1.70E-02	4.74E-04	2.11E-02

출처 : 환경부 「2010년도 폐석면광산 주변 토양·지하수 석면함유 정밀조사」 보고서 중
ABS 측정 자료를 근거로 산출

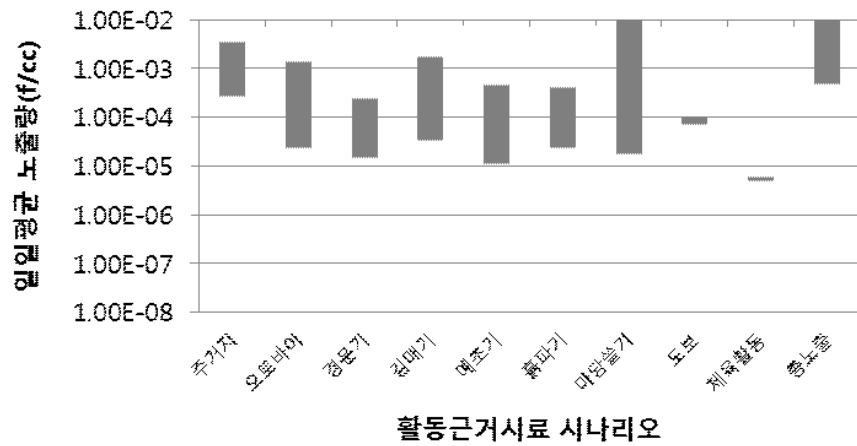


그림 8. 폐석면광산 인근 지역 거주 성인의 생활 활동 시나리오별 일일평균인체노출량 비교

표 19. 폐석면광산 인근 지역 거주 성인의 생활 활동 시나리오별 평생초과 발암위해도 추정

	노출특성	평생초과발암위해도			
		평균	95%	최소	최대
이동 수단	오토바이	3.23E-05	1.54E-04	5.32E-06	3.18E-04
	경운기	1.46E-05	5.14E-05	3.42E-06	5.47E-05
	도보	1.99E-05	2.32E-05	1.65E-05	2.32E-05
	소계	6.68E-05	2.29E-04	2.52E-05	3.96E-04
농업 활동	김매기	3.12E-05	1.67E-04	7.71E-06	3.93E-04
	예초기	9.41E-06	3.12E-05	2.59E-06	1.06E-04
	흙파기	1.44E-05	5.71E-05	5.41E-06	9.20E-05
	소계	5.50E-05	2.55E-04	1.57E-05	5.91E-04
여가 및 생활	마당쓸기	3.93E-04	2.62E-03	4.15E-06	3.06E-03
	주거지	1.42E-04	8.06E-04	6.27E-05	8.06E-04
	체육활동	1.27E-06	1.38E-06	1.15E-06	1.38E-06
	소계	5.36E-04	3.43E-03	6.80E-05	3.87E-03
총노출		6.58E-04	3.91E-03	1.09E-04	4.86E-03

출처 : 환경부 「2010년도 폐석면광산 주변 토양·지하수 석면함유 정밀조사」 보고서 중 ABS 측정 자료를 근거로 산출

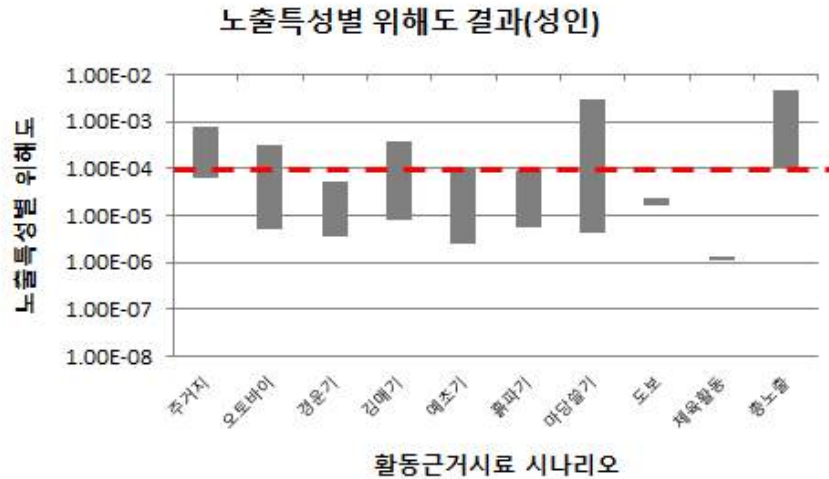


그림 9. 폐석면광산 인근 지역 거주 성인의 생활 활동 시나리오별 평생초과발암위해도 비교

성인의 노출 특성에 따른 위해도 산출결과, 초과생애발암위해도(ELCR)가 10^{-4} 이상인 시나리오는 주거지(평균 1.42×10^{-4} , 95번째분위수 8.06×10^{-4}), 오토바이(평균 3.23×10^{-5} , 95번째분위수 1.54×10^{-4}), 김매기(평균 3.12×10^{-5} , 95번째분위수 1.67×10^{-4}), 마당 쓸기(평균 3.93×10^{-4} , 95번째분위수 2.62×10^{-3})로 나타나 상기의 활동과정에서 발암 위해도가 높음을 알 수 있다. 경운기 및 도보, 예초기, 흙파기 등은 상대적으로 낮은 위해도를 나타내었다.

(나) 어린이 평생초과발암위해도

위해도 분석을 위하여 활동근거 시나리오별 각각의 일일 평균 노출량 산정을 실시한 결과 어린이의 경우 주거지에서는 평균 0.00006 f/cc의 석면이 노출되었으며, 최대 0.0003 f/cc, 최소 0.00003 f/cc로 나타났다. 마당 쓸기의

경우 0.00015 f/cc개의 평균 노출량을 보여 일일평균 가장 높은 노출이 일어났다. 어린이의 일일 평균 노출 총량을 합산한 결과 0.00004 ~ 0.0016 f/cc의 석면이 노출되었고, 평균적으로 0.0002 f/cc의 석면에 노출되는 것으로 나타났다.

어린이 노출 특성에 따른 위험도 산출결과, 초과생애발암위해도(ELCR)가 10^{-4} 이상인 시나리오는 없었으며, 어린이의 생활 활동 시나리오에 따른 석면위해도는 높지 않음을 알 수 있었다. 주거지(평균 2.52×10^{-6} , 95번째 분위수 1.42×10^{-5}), 오토바이(평균 5.05×10^{-7} , 95번째분위수 2.40×10^{-6}), 마당 쓸기(평균 6.15×10^{-6} , 95번째분위수 4.09×10^{-5}), 도보(평균 3.12×10^{-7} , 95번째 분위수 3.63×10^{-7}), 체육활동(평균 1.99×10^{-8} , 95번째분위수 2.16×10^{-8})이며, 모든 노출 시나리오에 의한 총 위험도는 평균 9.51×10^{-6} , 95번째분위수 5.80×10^{-5} 으로 예측되었다.

표 20. 폐석면광산 인근 지역 거주 어린이(만7-12세)의 생활 활동 시나리오별 일일평균인체노출량 산출

	노출특성	일일평균 인체 노출량(f/cc)			
		평균	95%	최소	최대
이동수단	오토바이	1.20E-05	5.73E-05	1.98E-06	1.19E-04
	도보	7.43E-06	8.63E-06	6.17E-06	8.63E-06
	소계	1.94E-05	6.59E-05	8.15E-06	1.28E-04
여가 및 생활	마당쓸기	1.46E-04	9.75E-04	1.55E-06	1.14E-03
	주거지	6.00E-05	3.39E-04	2.64E-05	3.39E-04
	체육활동	4.74E-07	5.14E-07	4.29E-07	5.14E-07
	소계	2.06E-04	1.31E-03	2.84E-05	1.48E-03
총노출		2.26E-04	1.38E-03	3.65E-05	1.61E-03

출처 : 환경부 「2010년도 폐석면광산 주변 토양·지하수 석면함유 정밀조사」 보고서 중 ABS 측정 자료를 근거로 산출

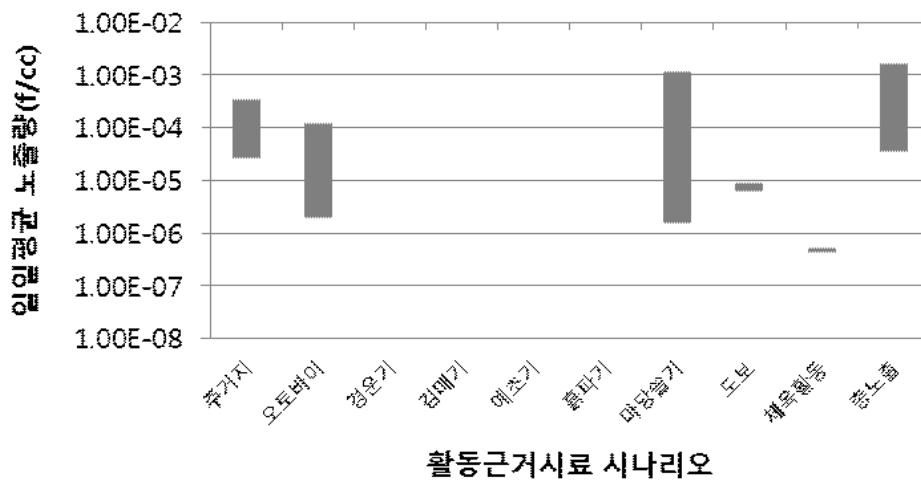


그림 10. 폐석면광산 인근 지역 거주 어린이(만7-12세)의 생활 활동 시나리오별 일일평균인체노출량 비교

표 21. 폐석면광산 인근 지역 거주 어린이(만7-12세)의 생활 활동 시나리오별 평생초과발암위해도 추정

	노출특성	평생초과발암위해도			
		평균	95%	최소	최대
이동수단	오토바이	5.05E-07	2.40E-06	8.32E-08	4.99E-06
	도보	3.12E-07	3.63E-07	2.59E-07	3.63E-07
	소계	8.17E-07	2.76E-06	3.42E-07	5.35E-06
여가 및 생활	마당쓸기	6.15E-06	4.09E-05	6.49E-08	4.79E-05
	주거지	2.52E-06	1.42E-05	1.11E-06	1.42E-05
	체육활동	1.99E-08	2.16E-08	1.80E-08	2.16E-08
	소계	8.69E-06	5.51E-05	1.19E-06	6.21E-05
총노출		9.51E-06	5.80E-05	1.53E-06	6.76E-05

출처 : 환경부 「2010년도 폐석면광산 주변 토양·지하수 석면함유 정밀조사」 보고서 중 ABS 측정 자료를 근거로 산출

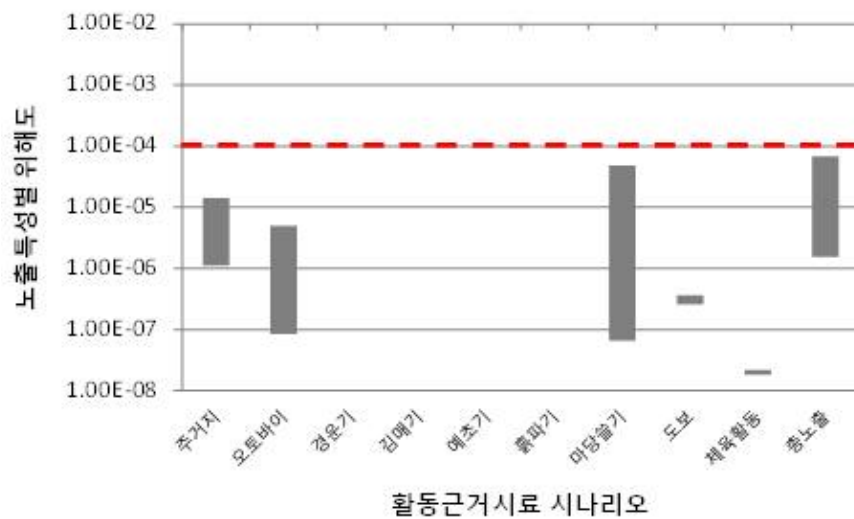


그림 11. 폐석면광산 인근 지역 거주 어린이(만7-12세)의 생활 활동 시나리오별 평생초과발암위해도 비교

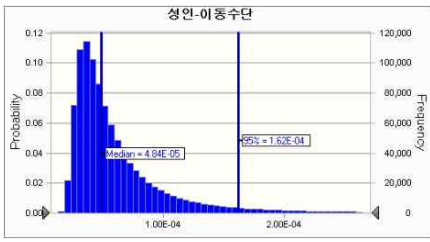
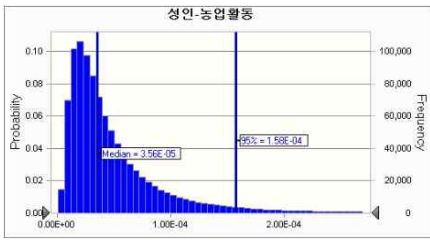
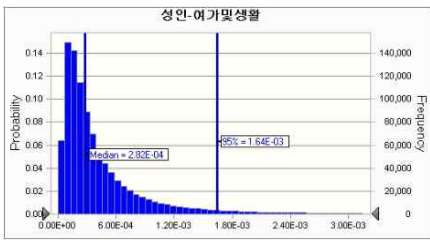
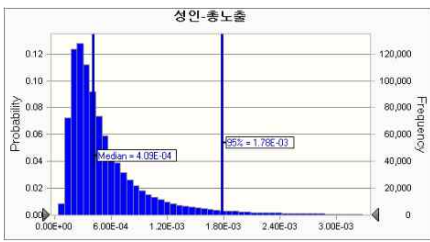
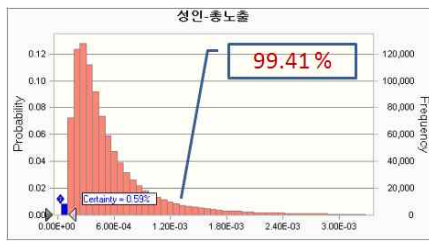
다. 폐석면광산 인근 거주 주민의 흡입 위해 기여 요인 분석

(1) 생활 활동 시나리오별 위해 기여율 비교

확률분포에 의한 폐광산 인근 지역에서 다양한 생활 활동에 의한 성인의 총 석면 흡입 위해도의 중앙값은 4.09×10^{-4} 이었으며, 95번째 백분위 위해도는 1.78×10^{-3} 으로 추정되었다. 폐광산 인근에 거주하는 성인은 석면 노출로 인해 세계보건기구(WHO)에서 권고하고 있는 발암성 환경 오염물질로 인한 발암 허용 위해 수준인 천만명당 1명의 발암 위해를 모두 초과하고 있었으며, 미국 환경보호청(EPA)에서 권고하고 있는 저감 활동 수준(action level)인 만명당 1명을 초과하는 비율은 99.4%이고, 천명당 1명의 위해 초과 성인도 23.9%로 예측되었다.

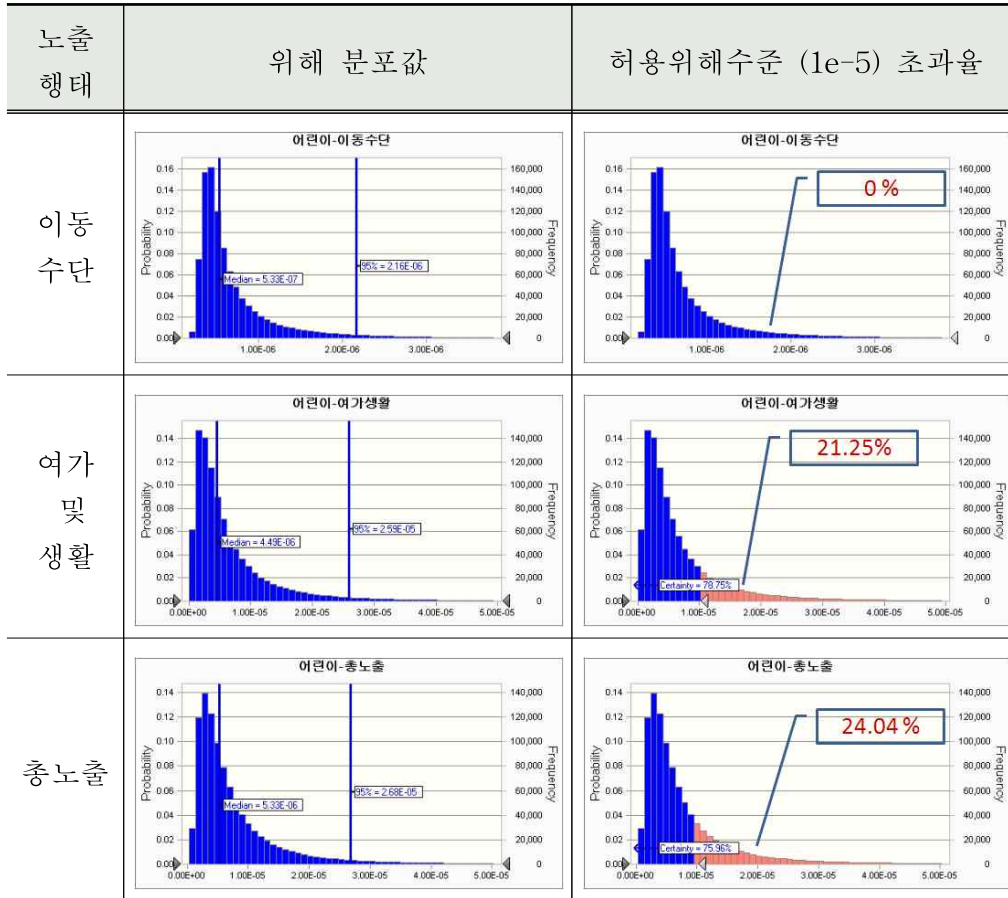
각 생활 활동별 미국 EPA의 저감 활동 수준을 초과하는 위험 인구는 이동수단에 의해 13.7%, 농업활동에 의해 22.0%, 여가 및 주거지 생활에 의해 86.9%로 예측되었다.

표 22. 폐석면광산 인근지역 거주 성인의 인체 위해 분포 및 허용위해수준 초과율

노출 행태	위해 분포값	허용위해수준 (1e-4) 초과율
이동 수단		
농업 활동		
여가 및 생활		
총노출		

이에 비해 어린이(만 7 ~ 12세)의 초등학교 기간 동안의 노출로 인한 석면 흡입 위해 수준인 총 위해도의 중앙값은 8.98×10^{-6} 이었으며, 95번째 백분위 위해도는 2.68×10^{-5} 으로 추정되어 성인에 비해 다소 낮은 수준이었다. WHO에서 권고하고 있는 발암성 환경 오염물질로 인한 발암 허용 위해 수준인 천만명당 1명의 발암 위해를 초과하는 어린이는 노출 인구 중 24.0% 수준이었다. 이동수단에 의해 어린이의 위험인구는 없었으나, 거주지에서의 체육 및 여가 활동에 의한 WHO 허용 위해 수준 초과율이 21.3%로 예측되었다.

표 23. 폐석면광산 인근지역 거주 어린이(만 7~12세)의 인체 위해 분포 및 허용위해수준 초과율



다양한 생활 활동 중 석면 흡입 위해에 가장 많은 기여를 하는 노출 시나리오는 성인 및 어린이 모두 주거지 등에서의 여가 및 생활에 의한 것으로 분석되었다. 성인의 경우 주거지에서의 여가 및 생활에 의한 위해 기여율이 81%, 이동수단에 의해서는 10% 그리고 농업활동에 의해 9%의 위해 기여를 보이고 있었다. 이에 비해 농업 활동을 하지 않는 만 7~12세 어린이는 주거지에서의 여가 및 생활에 의해 91%의 위해가 발생되고, 이동 수단에 의한 기여 수준은 9% 정도로 나타났다.

세부 생활 활동별로 위해 기여율을 비교해 보면, 성인은 마당 쓸기로 인해 62%, 주거지의 여가 및 생활에 의해 19%, 오토바이 타기가 5%, 도보 3%, 그 외 농업 활동은 각 2% 정도가 총 위해도에 기여하고 있었다. 농업 활동이 없는 어린이는 마당 쓸기로 인해 69%, 주거지의 여가 및 생활은 22%, 오토바이 뒤에 타는 것에 의해 6%, 도보시 3%의 위해 기여율로 분석되었다.

전반적으로 마당 쓸기, 오토바이 타기 등 석면이 함유된 토양에서의 비산 먼지가 다량으로 발생될 수 있는 생활 행동에 의한 위해 기여율이 큰 것을 확인할 수 있었으며, 비록 낮은 석면 농도라도 점유 시간 및 빈도가 큰 주거지에서의 생활에 의한 기여도가 약 20% 내외 수준으로 나타나 잠재적인 위해 요소가 될 수 있었다.

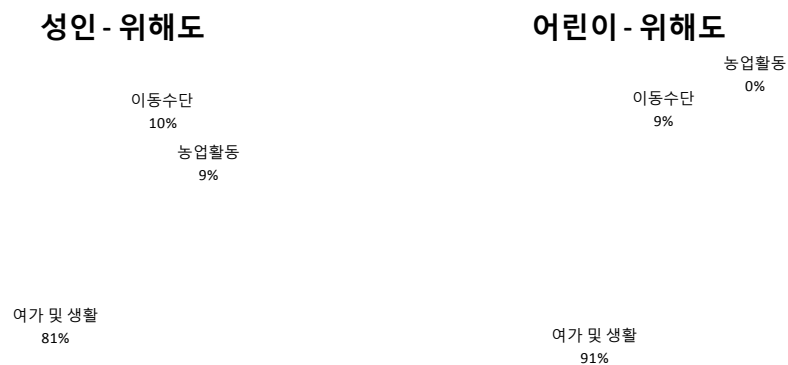


그림 12. 폐석면광산 인근 거주 주민의 주요 노출 행태별 위해 기여율 비교

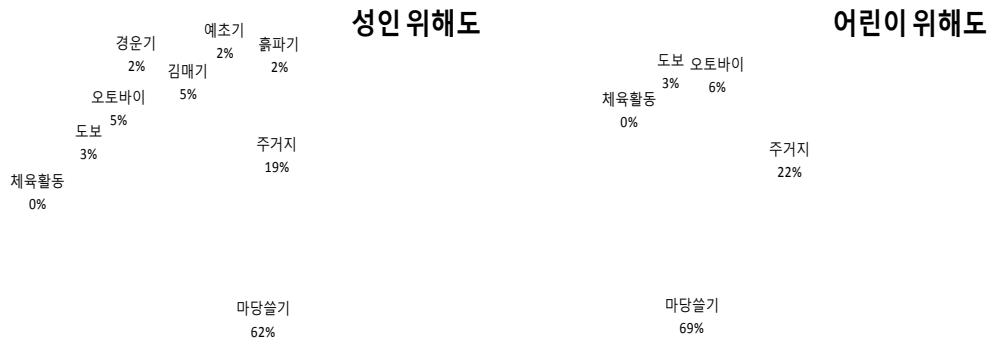


그림 13. 폐석면광산 인근 거주 주민의 노출 시나리오별 위해 기여율 비교

(2) 주요 노출 인자의 민감도 분석

(가) 성인의 주요 노출 인자

가장 영향을 크게 미치는 노출 인자는 마당을 쓸 때 발생하는 공기 중 석면 농도(79.3%)이며, 그 다음으로는 주거지의 대기 중 석면 농도(15.4%)이며, 오토바이 등 다량의 흙먼지 발생을 유발시키는 이동수단 이용 시 주변 공기 중 석면 농도(1.9%) 순으로 분석되었다. 특히 어떤 형태로든지 석면 중 농도가 총 인체 위해도에 미치는 영향이 99.1%이었으며, 그 외 노출시간 및 노출기간 등의 시간 관련 인자의 영향력은 0.9% 정도로 미미하였다.

노출 행태와 관련되어 석면 위해도에 영향을 미치는 주요 노출 인자를 도출하기 위해, 공기 중 석면 농도 변수를 배제한 상태에서 민감도 분석을 실시하였다. 그 결과, 고농도 석면 농도를 발생시키는 마당 쓸기 행위의 일일노출시간(53.9%)이 가장 민감한 영향을 미치는 인자로 조사되었다. 그 다음으로는 노출 시간이 가장 긴 주거지에서의 연간 노출일(26.3%) 및 일평균노출시간(12.5%)으로 나타났다. 비교적 높은 농도가 검출된 김매기,

흡파기 등의 농사활동과 관련된 연간 노출일 및 일평균노출시간의 민감도는 1% 미만의 미미한 것으로 평가되었다.



그림 14. 폐석면광산 인근 거주 성인의 흡입 위해도에 영향을 미치는 노출 인자의 민감도 분석

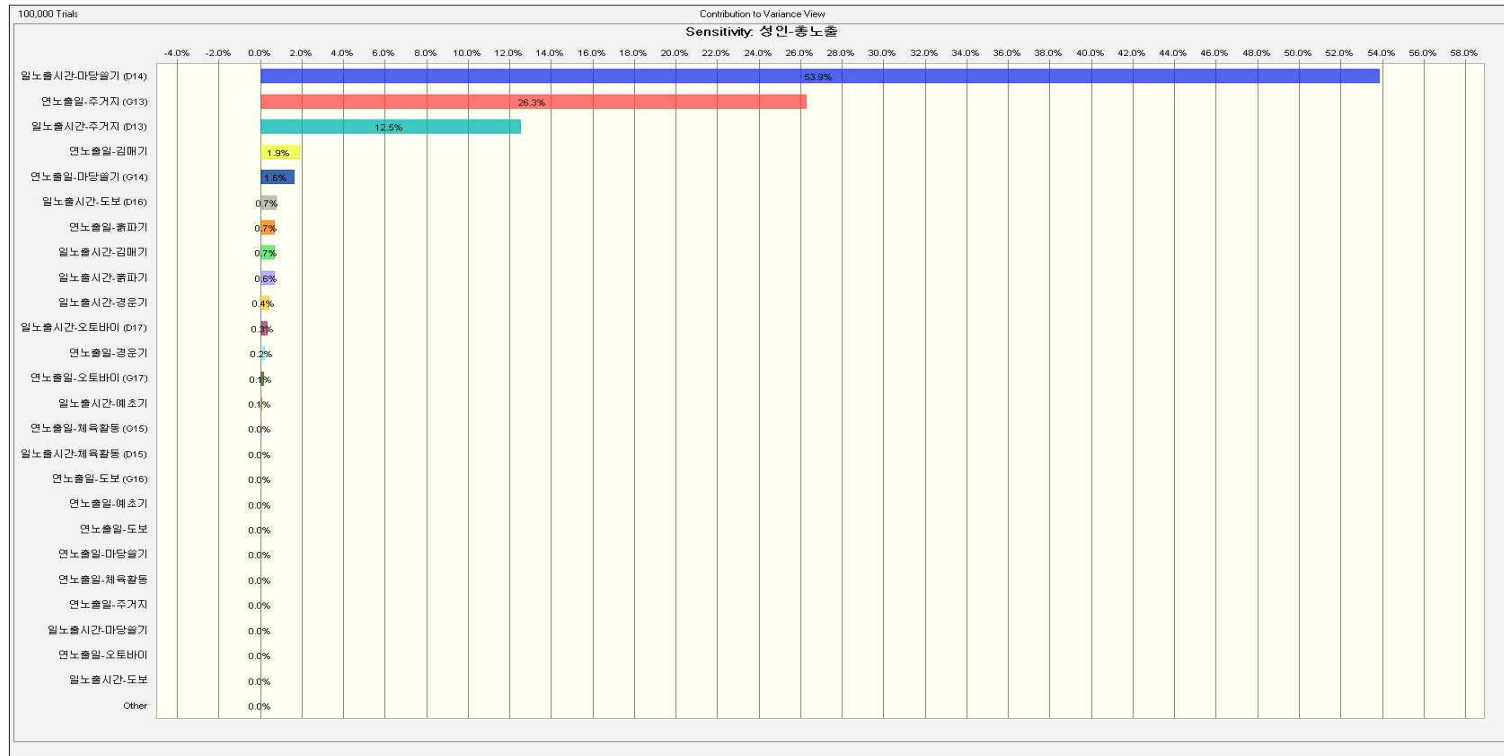


그림 15. 폐석면광산 인근 거주 성인의 흡입 위해도에 영향을 미치는 노출 인자 중 석면 농도를 배제한 조건에서의 민감도 분석

(나) 어린이의 주요 노출 인자

어린이의 석면 흡입 위해도에 영향을 미치는 노출 인자의 민감도 분석 결과는 성인의 경우와 유사하였다. 어린이의 석면 흡입 위해도에 가장 민감한 노출 인자는 마당을 쓸 때 발생하는 공기 중 석면 농도(80.1%)이며, 그 다음으로는 주거지의 대기 중 석면 농도(17.2%)이며, 오토바이 등 다량의 흡연지 발생을 유발시키는 이동수단 이용 시 주변 공기 중 석면 농도(2.1%) 순으로 분석되었다. 특히 어떤 형태로든지 석면 중 농도가 총 인체 위해도에 미치는 영향이 99.4%이었으며, 그 외 노출시간 및 노출기간 등의 시간 관련 인자의 영향력은 0.6% 정도로 미미하였다.

어린이의 경우에도 노출 행태와 관련되어 석면 위해도에 영향을 미치는 주요 노출 인자를 도출하기 위해, 공기 중 석면 농도 변수를 배제한 상태에서 민감도 분석을 실시하였다. 전반적인 경향은 성인의 경우와 동일하였으나, 마당 쓸기 시간(54.3%), 주거지에서의 연간 노출일(29.6%) 및 일평균 노출시간(12.5%)의 민감도가 성인보다는 약간씩 높게 평가되었다.

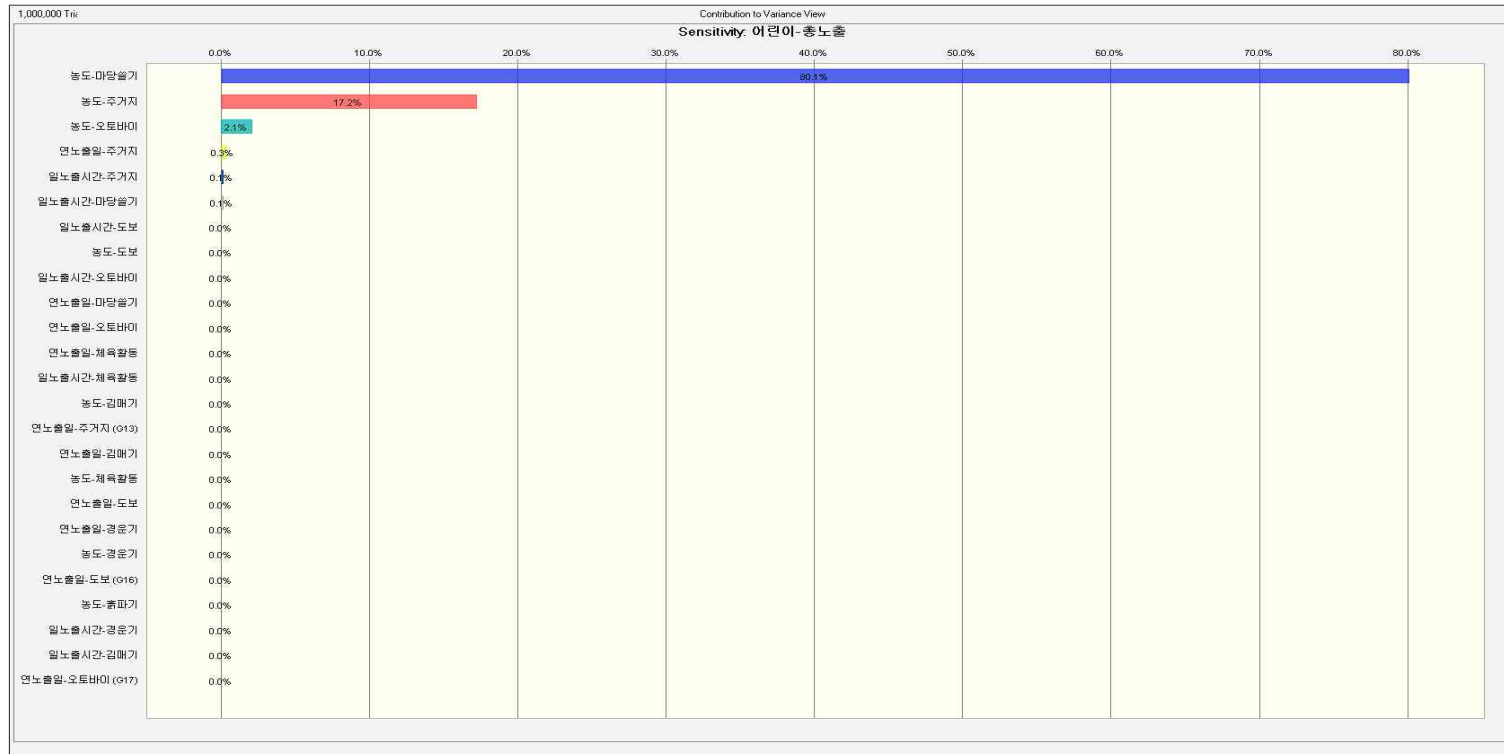


그림 16. 폐석면광산 인근 거주 어린이의 흡입 위해도에 영향을 미치는 노출 인자의 민감도 분석

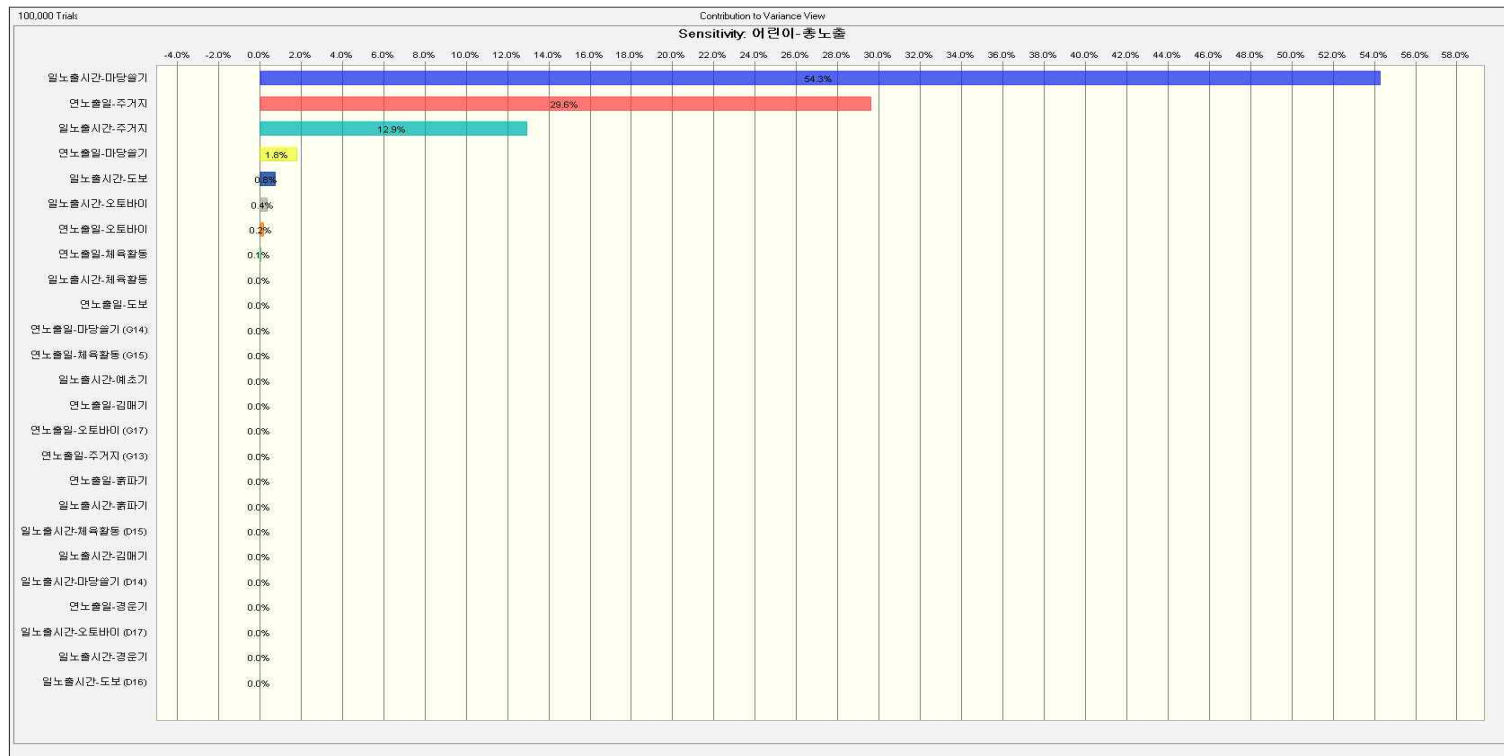


그림 17. 폐석면광산 인근 거주 어린이의 흡입 위해도에 영향을 미치는 노출 인자 중 석면 농도를 배제한 조건에서의 민감도 분석

폐석면광산 거주 주민의 다양한 노출 행태로 인한 석면 흡입 위해도에 영향을 미치는 노출 인자들을 분석한 결과, 마당쓸기, 주거활동, 오토바이, 김매기 등의 활동에 의해 발생하는 석면 농도가 가장 중요한 영향 인자로 도출되었다. 이와 더불어 마당쓸기 시간 및 빈도, 주거활동 시간 및 빈도, 김매기 등 농업활동 시간 및 빈도, 도보 시간도 석면 흡입 위해도에 영향을 미칠 수 있는 잠재적 영향 변수로 선정되었다.

폐석면광산 거주 주민의 석면 흡입 위해도에 영향을 미치는 노출 인자들을 살펴본 결과, 토양 중 석면이 공기 중으로 쉽게 비산되는 노출 행태(마당쓸기, 오토바이 타기, 김매기 등)에 의한 영향이 큰 것으로 나타났다.

따라서 폐석면광산 지역과 같이 토양 중 석면 함량이 높을 가능성이 존재하는 지역은 비산 먼지가 발생되지 않도록 할 필요가 있으며, 부득이하게 비산 먼지가 발생하는 활동을 할 경우에는 분진 방지 마스크 등의 보호장비를 이용하여 흡입 노출을 방지할 필요가 있다.

표 24. 석면 흡입 위해 관련 노출 인자 중 1% 이상의 민감도를 보인 변수

구 분	성 인	어린이
노출 농도	마당쓸기 주거지 오토바이 김매기	마당쓸기 주거지 오토바이
노출 시간 및 빈도	마당쓸기 시간 및 빈도 주거 시간 및 빈도 김매기 시간 및 빈도 도보 시간 흡파기 시간 및 빈도	마당쓸기 시간 및 빈도 주거 시간 및 빈도 도보시간

3. 폐석면광산의 석면 저감 방안 제안

폐석면광산 지역의 거주자를 대상으로 위해도 분석을 실시한 결과 위해성이 있는 것으로 나타날 경우 중앙정부 및 지방정부 그리고 해당지역 주민 등은 이를 방지하기 위한 대책 등을 수립하여 이행하여야 한다.

국내의 경우도 폐석면광산 지역의 거주자를 대상으로 위해도 분석을 실시한 결과 미국과 같이 위해도가 존재하는 것으로 나타날 경우 이에 대한 대책을 수립하여 시행하여야 할 것이다. 대책에 대한 수준은 정부(중앙, 지방) 차원에서 진행하여야 하는 대책과 거주민들의 개인 영역에서 대처하여야 할 부분으로 구분할 수 있다.

정부 : 해당 지역의 토양 관리 기준 및 주기적인 모니터링 방안을 계획하고 시행할 수 있도록 제도적, 재정적인 기반을 구축 하여야 한다. 근본적으로 해당지역의 토양 중에 석면이 함유되었기 때문에 발생할 수 있는 사항이므로 이를 방지하기 위한 장기적인 대책 수립이 필요하다. 즉 해당 지역 도로 포장 계획 등 근본적으로 토양의 흘날림을 억제할 수 있는 대책을 수립하는 등의 적극적 계획 수립이 필요하며, 또한 석면 비산 위험에 따른 행동 요령 및 대책 방법 등을 구체적으로 적시하여 해당 지역 주민들이 이를 활용할 수 있도록 하여야 한다. 지방자치단체는 중앙정부에서 수립한 토양 관리 기준 및 방안에 대한 Action level을 달성하기 위한 활동이 전개되어야 한다. 주기적인 토양의 모니터링, 중점 관리지역의 설정 및 해당 주민에 대한 건강관리 등을 중점적으로 관리하여야 한다.

지역주민 : 해당 지방 자치 단체에서 관리하는 기준에 따라 적극적으로 참여하여야 한다. 예를 들어 해당 지자체에서 석면 비산 위험 정보가 발령 될 경우 마스크 착용 등 매뉴얼에 따른 방지 대책을 이행하여야 하며, 활동제한이 필요할 경우 이를 실천하여야 한다.

IV. 고 찰

본 연구는 폐석면광산 지역에 거주하는 주민의 석면노출에 의한 발암 위험도 등 위해성을 분석하여 위험성이 높을 경우 이에 대한 대책마련을 제안하고자 한 것으로, 환경부에서 조사한 폐석면광산 지역의 토양·지하수 정밀 조사 자료를 분석하여 위해성 평가를 실시하고 주체별 대책을 제안하고자 한 것이다. 연구에서는 해당 광산의 토양 및 대기 중 공기 시료를 채취하여 토양 및 공기 중에 포함된 석면의 함유량을 분석하고 주민들의 생활 활동 시나리오별 석면의 인체 노출량 산정 및 거주주민의 석면에 의한 암 발생 위험도를 분석·평가하였으며, 석면에 의한 위험도가 높은 폐석면광산 지역의 경우 지역주민의 건강보호를 위하여 사전예방 및 효율적 관리를 위한 정책적 방안을 마련하고자 하였다.

폐석면광산 주변 지역의 석면 위험도에 관한 국내의 연구는 본 연구에서 활용한 환경부 연구 결과 이외는 수행한 사례가 없다. 다만, 석면 건축자재 (ACM)의 분포 정도에 따른 위해성 평가 등에 관한 것은 다수 보고되고 있다. 따라서 본 연구에서는 환경부의 정밀조사 자료를 바탕으로 석면 노출량을 새롭게 산출하고 위험도를 산출하여 석면에 관한 위해성 검증을 실시하였다.

폐석면광산 주변 지역의 토양에 포함된 석면 함유량 분석을 위하여 토양 중 석면 함유량 조사결과를 분석하였다. 폐석면광산을 중심으로 거리에 따른 토양 내 석면 분포를 분석한 결과 채취한 시료 전체적으로 약 0.34 % 정도 석면을 함유하고 있는 것으로 나타났으며, 거리에 따른 시료 분석결과

1.0 km 미만은 0.44 %, 1.0~2.0 km는 0.29 %, 2.0 km 이상은 0.37 %의 농도를 함유하는 것으로 나타났다. 광산별 분석 결과 A 광산은 반경 1 km 이내에서는 0.54 %, 1~2 km 이내는 0.31 %, 2 km 이상은 0.45 %의 토양 내 석면 함유 농도를 가지는 것으로 나타났다. 전체적으로 A광산 지역의 토양에서 석면의 함유가 높은 것으로 나타났다. 거리에 따른 토양 중 석면 함유량을 분석한 결과 A광산 지역의 경우 1~2km 거리 지역이 2km 이상 보다 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 폐석면광산 주변 지역 토양 중 석면의 농도가 반드시 거리에 비례하지 않음을 나타내는 것으로 추론할 수 있다.

생활 활동 시나리오에 따른 석면의 노출 정도를 비교 분석하기 위하여 시나리오를 설정하고 각 행태별 성인과 어린이의 상황을 비교 분석하였다. 시나리오 설정은 미국 EPA에서 제시하는 노출 형태를 기준으로 설정하여 분석한 것으로 본 연구 대상 자료에서는 이동수단, 여가활동, 농업활동으로 구분하여 각각의 시나리오를 설정하였다. 분석을 실시한 결과 표면 토양과 마찰이 가장 심한 마당 쓸기 활동에서 석면의 노출이 높게 나타났으며, 자동차 및 자전거, 도보와 같이 이동 수단에 의한 생활 활동의 경우에는 가장 낮은 노출 특성을 보였다.

토양 중 포함된 석면의 영향으로 인한 위해도 사례조사는 미국 El Dorado Hills 자연 발생 석면 분포 지역의 ABS 의한 위해도 평가를 참고 하였다. 지역 내에 있는 학교, 공원 등 El Dorado Hills에서 자연적으로 발생하는 석면에 대하여 주민의 노출 평가를 실시한 결과, 7개의 운동장에서 석면이 발견되었고, 일부 ABS에서도 석면이 검출되는 것으로 나타났다. 대기 중 석면 측정 결과 온석면(chrysotile)과 각섬석(amosite, anthophyllite, tremolite,

actinolite) 형태의 석면이 검출되었다. 이와 같은 사례는 미국 El Dorado Hills외에 Clear Creek Management Area, Oregon 등지에서도 보고된바 있으며 이는 위해성 평가 결과 야외 활동은 석면 노출을 유발하는 충분한 요인이며, 특히 활동 중 발생하는 먼지의 흡입 노출 요인으로 작용하고, 노출 시나리오의 활동성이 클수록 고노출 및 고위험 가능성이 존재함으로서 노출을 감소시키는 것이 위험을 감소시키는 것으로 보고한바 있다. 또한 어린이는 성인보다 낮은 위치에서 호흡을 하기 때문에 노출량이 많을 수 있으며, 장기적 노출 조건이 갖추어짐으로서 인체 유해 영향 발현 기회가 더 높을 수 있다고 보고한 바 있다.

앞서 분석한바와 같이 환경부 정밀조사 결과에서 토양 내 존재하는 석면 함유량은 폐석면광산으로 부터의 거리에 따른 특성과 상관성은 높지 않은 것으로 나타났으나 먼지를 유발하는 행동, 즉, 마당 쓸기와 같은 생활 활동 시나리오에 따른 석면의 노출 정도는 상관성이 높은 것으로 나타났다.

폐석면광산 주변 지역의 노출량 및 위해성 평가를 실시한 결과 생활 활동 특성과 발암 위해도는 어느 정도 상관성이 있으며, 폐석면광산 주변 지역에서 장기적으로 생활 할 경우 다른 지역 보다 발암 위해도가 높을 것으로 나타났다.

미국의 경우 자연발생 석면, 폐석면광산 주변 지역, 건축자재에 포함된 석면에 의한 토양의 오염 등에 의한 석면 노출 영향 인자에 대처하기 위하여 토양 중 1% 이상의 석면 함유가 있는 것으로 나타나면 이를 반드시 제거 하도록 하였다. 이러한 기준의 설정근거는 1%의 석면이 함유된 토양에서 70년간 생활할 경우 인체 위해 수준은 약 3/10,000명 수준으로 추정되었고,

토양 중 1% 석면 농도 이상이면 인체 위해 관리 수준(10^{-4})을 초과할 가능성이 높을 것으로 추정되었기 때문이다. 근본적으로 석면 오염원을 차단하고 석면 비산행위를 관리할 수 있는 프로그램을 설정하며, 이들 지역에 대한 주기적인 모니터링과 대책을 수립하여 관리를 실시하고 있었다.

따라서 국내의 경우도 폐석면광산 지역의 거주자를 대상으로 위해도 평가를 정밀하게 실시하여 근본적인 위해요인의 차단, 주기적인 모니터링의 실시 등 중앙정부, 지방정부, 주민 등이 수행하여야 할 대책을 수립하여 시행하여야 할 것으로 판단된다.

앞서 서술한 바와 같이 미국 El Dorado Hills 및 중앙 캘리포니아 San Benito and Fresno의 지역을 조사한 결과 불확실성이 존재하지만 이들 지역에서의 야외 활동은 석면 노출을 유발하는 충분한 요인이며, 특히 활동 중 발생하는 먼지의 흡입 노출 요인으로 작용하는 것으로 보고된바 있다.

미국환경보호청에서는 자연 석면 노출을 최소화하기 위해 토양에서의 석면 제거 수준을 제안하고 있다.

표 25. 미국 환경보호청의 다양한 공간 및 행위별 석면 저감 기준

종류	저감 기준 (Cleanup Action Level)	설정 근거
토양 (Cleanup of outdoor soils : SOILS)	- 초목으로 덮혀 있지 않아 비산 먼지 발생이 가능한 토양에서 육안으로 질석(vermiculite) 및 다른 질석 광산 관련 물질이 확인되면 제거 - 토양 중 1% 석면 함유 이상이면 제거	- 육안으로 질석이 관찰된 토양 중 70% 이상에서 석면 함유가 관찰됨으로 즉시 제거 필요 1%의 석면이 함유된 토양에서 70년간 생활할 경우, 인체 위해 수준은 약 3/10,000명 수준으로 추정됨 - 위해 추정 과정에서 토양 중 비산 먼지 발생 추정시 다소 불확실성이 존재함 - 따라서 토양 중 1% 석면 농도 이상이면 인체 위해 관리 수준(10^{-4})을 초과할 가능성이 높을 것으로 추정

또한 각 위험 특성화에 따른 석면 분진 저감 계획을 다음과 같이 수립 하도록 하였다.

표 26. 미국 환경보호청의 석면 위험특성화별 위해 관리 대책 수립 방안

	긴급 대책	예방 대책
오염원 차단	· 석면 함유 토양의 비산을 방지할 수 있는 적극적 대책 마련 - 토양 표면 강화, 습윤화 - 피복 토양 되메우기, 오염원제거	· 석면 함유 토양의 비산을 최소화 할 수 있는 장기적 대책 마련 - 초목심기 등의 조경 - 주기적 살수 등의 비산먼지 제어
석면 비산 행위 관리	· Action level을 달성하기 위한 토양 목표 농도 이상으로 석면이 함유된 토양에 대해 다음과 같은 행위 제한 - 토양을 파헤칠 수 있는 행위 - 석면 함유 비포장도로에서 고속 주행 - 석면 함유 토양에서의 놀이 활동 · 부득이하게 제한된 행위를 할 경우, 아래의 정보를 문서화하여 관리자에게 제공 후 행위 허가 취득 - 현장 위치 - 현장의 석면토양시험 결과 - 행주시 비산 석면 저감 계획 - 굴착 토양이 발생할 경우, 운송 장소 및 적정 운송 방안 - 굴착 토양을 제사용할 경우, 목적 및 타당성(위해성 없는 용도) - 행위 완료 후 현장의 적정 처리 계획 · 허가된 행주시 석면 비산 저감 대책을 준수하여 실시하며, 행위 종료시 오염 토양의 적정한 차단 실시 여부 평가	· 관리 대상 토양에서 석면이 비산될 수 있는 행위를 할 경우, 노출 최소화할 수 있도록 주민홍보 실시 - 토양을 파헤치는 행주시, 대상 토양의 충분한 습윤 처리 후 행동하기, 작업복 및 마스크 등 보호 장비 착용하며, 작업복은 실외에서 벗고, 실내로 들어가기 - 가능한 비포장도로에서 차문 개방 및 고속 주행 자제하기 - 비포장 공터에서 놀이 행위를 할 경우, 비산 먼지 발생을 최소화하기 위해 주기적으로 살수 등을 하며, 장시간 이용은 자제하기 - 바람이 많이 불어 눈에 보이는 먼지가 발생하는 날은 외부 활동 삼가기 · 지역 관리자는 관리 대상 토양이 손상되어 석면 비산 우려 발생 여부를 상시 점검하고, 대책 필요시 주민에게 위험 경고 알림
주기적 모니터링	· 대책 수행 후 매년 1회 이상의 토양, 실외 공기 및 ABS 농도 측정을 통한 저감 효과 분석	· 대책 수행 후 매년 1회의 토양 및 실외 공기 측정을 통한 현장 실태 조사 실시
대책 관리	· 주기적 모니터링 자료 기반의 위해성 평가를 실시하여 저감 효과 분석 · 위해 수준에 따른 위험특성화 재평가 및 적정 관리 수행	· 주기적인 모니터링 자료 기반의 위해성 평가 실시 · 위해 수준에 따른 위험특성화 재평가 및 적정 관리 수행

V. 결 론

이 연구는 폐석면광산 지역에서 석면에 의한 위해성을 분석하기 위하여 먼저 폐석면광산 인근 지역의 대기과 토양 중의 석면 분포 특성을 분석하고, 지역 거주민의 생활패턴과 연계하여 인체 노출량 산정 및 거주주민의 석면에 의한 암 발생 위험도를 분석·평가하였으며, 본 분석 결과를 바탕으로 석면에 의한 위험도가 높은 폐석면광산 지역의 경우 지역주민의 건강보호를 위하여 사전예방 및 효율적 관리를 위한 정책적 방안을 마련하고자 한 것으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

대상지역의 석면 오염 상태를 조사한 결과 토양 중 석면의 함유율은 평균적으로 약 0.34% 정도로 나타났으며, 거리에 따른 시료 분석결과 1.0 km 미만은 0.44%, 1.0~2.0 km는 0.29%, 2.0 km 이상은 0.37%를 함유하는 것으로 나타났다. 광산별 분석 결과 A 광산은 반경 1.0 km 이내에서는 0.54%, 1~2 km 이내는 0.31%, 2.0 km 이상은 0.45%의 토양 내 석면을 함유 하는 것으로 나타나 광산과의 이격 거리별 토양 중 석면의 함유율은 유의성은 없었다. 이들 토양 주변의 공기 중 석면농도 분석을 실시한 결과 이격 거리에 따른 유의성은 높지 않은 것으로 분석되었으나 주민의 생활 활동 시나리오(ABS) 분석을 통한 대기 중 석면 농도 분석 결과 마당 쓸기와 같이 분진의 비산이 높은 작업에 따른 석면 비산 우려가 높은 것으로 나타났다.

생활 활동 시나리오를 적용한 성인의 총 석면 흡입 위험도의 중앙값은 4.09×10^{-4} 이었으며, 95번째 백분위 위험도는 1.78×10^{-3} 으로 추정되었다. 폐광산 인근에 거주하는 성인은 석면 노출로 인해 세계보건기구(WHO)에서 권고하고 있는 발암성 환경 오염물질로 인한 발암 허용 위해 수준인 천만명당 1명의 발암 위해를 모두 초과하고 있었으며, 미국 환경보호청(EPA)에서

권고하고 있는 저감 활동 수준(action level)인 만명당 1명을 초과하는 비율은 99.4%이고, 천명당 1명의 위해 초과 성인도 23.9%로 예측되었다. 각 생활 활동별 미국 EPA의 저감 활동 수준을 초과하는 위험 인구는 이동수단에 의해 13.7%, 농업활동에 의해 22.0%, 여가 및 주거지 생활에 의해 86.9%로 예측되었다. 이에 비해 어린이(만 7~12세)의 초등학교 기간 동안의 노출로 인한 석면 흡입 위해 수준인 총 위해도의 중앙값은 8.98×10^{-6} 이었으며, 95번째 백분위 위해도는 2.68×10^{-5} 으로 추정되어 성인에 비해 다소 낮은 수준이었다. WHO에서 권고하고 있는 발암성 환경 오염물질로 인한 발암 허용 위해 수준인 천만명당 1명의 발암 위해를 초과하는 어린이는 노출 인구 중 24.0% 수준이었다. 이동수단에 의해 어린이의 위험인구는 없었으나, 거주지에서의 체육 및 여가 활동에 의한 WHO 허용 위해 수준 초과율이 21.3%로 예측되었다.

주요한 노출형태 및 인자 분석결과 마당 쓸기와 같이 비산 가능성이 높은 생활형태가 주요한 위해도 기여 인자로 작용하는 것으로 나타났다. 성인의 경우 주거지에서의 여가 및 생활에 의한 위해 기여율이 81%, 이동수단에 의해서는 10% 그리고 농업활동에 의해 9%의 위해 기여를 보이고 있었고, 세부 생활 활동별로 위해 기여율을 비교해 보면, 성인은 마당 쓸기로 인해 62%, 주거지의 여가 및 생활에 의해 19%, 오토바이 타기가 5%, 도보 3%, 그 외 농업 활동은 각 2% 정도가 위해도에 기여하고 있었다. 성인의 주요 노출 인자에 대한 민감도 분석결과 마당을 쓸 때 발생하는 공기 중 석면 농도(79.3%)이며, 그 다음으로는 주거지의 대기 중 석면 농도(15.4%)이며, 오토바이 등 다량의 흡연지 발생을 유발시키는 이동수단 이용 시 주변 공기 중 석면 농도(1.9%) 순으로 분석되었다. 민감도 분석을 종합하면 마당 쓸기, 오토바이타기, 김매기와 관련된 노출 시간 및 빈도 등이 위해도에 영향을 미치는 주요 노출형태와 노출 계수로 나타났다.

따라서 이와 같이 석면 노출이 증가하고 위해도가 높은 생활환경의 경우 이를 저감할 수 있는 방지대책을 강구하여 시행할 필요가 있다.

상기와 같은 폐석면광산 및 자연 발생 석면 지역에 대한 주민의 건강 보호 대책을 위하여 미국의 El Dorado Hills과 미국 중앙 캘리포니아 San Benito and Fresno 지역에서는 긴급대책과 예방대책을 수립하여 시행하고 있다. 즉, 토양 표면 강화 및 습윤화, 초목 심기와 같은 오염원을 차단할 수 있는 적극적인 행위와 토양 작업등과 같은 석면 비산행위를 관리하는 방안 등을 수립하여 시행하고 있으며, 한편으로는 주기적인 모니터링을 실시하여 주민 건강 보호에 신경을 쓰고 있다.

국내의 경우 폐석면광산 지역에서 석면의 위해도로부터 낮아질 수 있도록 정부와 해당 지역 주민이 적극적인 방지 활동을 하여야 할 것으로 사료된다. 중앙 정부의 경우 비산 석면을 관리할 수 있는 적극적 대책 수립이 필요하다. 해당 지역의 비포장도로에 대한 포장사업을 꾸준히 진행할 수 있도록 예산 등을 적극적으로 진행하고 해당 지방 자치 단체에서는 비산 위험성이 높은 지역의 우선순위를 설정하여 중앙정부와 협의하여 적극적인 방지 대책 수립을 실시하여야 할 것으로 판단된다. 또한 해당 지역의 토양 관리 기준 및 주기적인 모니터링 방안을 계획하고 시행할 수 있도록 제도적, 재정적인 기반 구축을 하여야 한다. 개인의 경우 해당 지방 자치 단체에서 관리하는 기준에 따라 적극적으로 참여하여야 한다. 예를 들어 해당 지자체에서 석면 비산 위험 경보가 발령될 경우 마스크 착용 등 매뉴얼에 따른 방지 대책을 이행하여야 하며, 활동 제한이 필요할 경우 이를 실천하여야 한다.

이러한 폐석면광산 지역의 지역주민 건강보호 및 안정적인 생활환경 조성을 위해서는 폐석면광산 지역의 안정적인 관리를 위한 관리기준을 정하여 기준의 정도에 따라 별도의 대책을 수립할 필요가 있다. 기후의 조건, 풍향, 생활패턴의 형태 등을 고려한 시나리오를 설정하고 이때의 관리 대책을 수립하여 제시할 필요가 있을 것으로 판단된다. 특히, 건기, 바람 등의 영향에 의한 위해도 증가 요소를 고려할 때 석면 위해 정도 예보제 등을 도입하여 기후환경에 따라 위해도가 높아지는 요인이 있을 경우 이를 사전에 예보하여 활동 제한 조치를 실시하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

해당지역 주민을 대상으로는 주기적인 건강영향 조사를 실시하여 모니터링을 강화하고 개인별 석면 노출력을 집중 관리함으로써 석면에 의한 질환 발생 초기 단계에서 건강 보호 대책을 수립할 수 있도록 하여야 할 것이다. 또한 석면 위해도를 낮출 수 있는 근본적인 방안으로는 토양 중 석면의 함유량이 높은 지역의 경우 오염 토양의 정화 처리 등을 실시 할 필요가 있으며 이들 지역에 대한 종합적인 정밀 조사를 재 실시하는 것이 타당 할 것으로 판단된다.

정부에서 정책을 수립하고 해당 지역 주민들이 적극적인 관리를 실시한다 할지라도 근본적으로 폐석면광산 주변은 토양에 석면이 분포되어 있기 때문에 사후관리가 지속적으로 이루어져야 하고, 해당 지역에 대한 정보를 축소하거나 숨길 필요 없이 안전하게 관리하고 있다는 적극적 홍보도 필요 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 1) 환경부. 2010년도 폐석면광산 주변 토양·지하수 석면함유 정밀조사. 한국환경공단, 2010.
- 2) 환경부. 2011년도 폐석면광산 주변 토양·지하수 석면함유 정밀조사. 한국환경공단, 2011.
- 3) 환경부. 2012년도 폐석면광산 주변 정밀조사. 한국환경공단, 2012.
- 4) 윤운상, 이용호. 석면 폐광산의 효율적 광해관리를 위한 현장조사 및 평가방법 제안. 한국지반공학회지. 2009. 5; Vol.25. NO.5
- 5) 최정근, 백도명, 백남원. 우리나라의 석면 생산과 사용 및 근로자 수와 노출 농도의 변화. 한국위생학회지. 1998; 제8권 제2호
- 6) 고상모, 석면의 생성환경 및 산출상태. 2010 한국광물학회 석면아카데미. 2010. 2
- 7) 김웅철. 폐금속광산 지역주민의 건강보호를 위한 정책적 방안 연구, 연세대학교 보건대학교 산업환경보건학과(석사학위논문). 2009.
- 8) 최민형. 이동수단에 따른 폐석면광산 주변지역 흡입가능 석면의 실태조사 및 위해성 평가, 연세대학교(석사학위논문). 2010.
- 9) 강아름. 충남 보령 폐석면광산지역에서 산출되는 자연발생 석면에 대한 광물학적 연구, 전남대학교(석사학위논문). 2011.
- 10) 윤근택. 충남 보령시 오천면 폐광산 지역에서 산출하는 투각섬 석면

의 광물학적 연구. 부산대학교. 2010.

- 11) Anonymous, hotgun Creek mine, Shasta County, California, DMEA Docket 2896: Defense Minerals Exploration Administration (DMEA) dockets, accessed May 2, 2011, URL: <http://minerals.usgs.gov/dockets/ca.htm>
- 12) Bradley S. Van Gosen, U.S. Geological Survey, Denver, Colorado and John P. Clinkenbeard, California Geological Survey, Sacramento, Reported Historic Asbestos Mines, Historic Asbestos Prospects, and Other Natural Occurrences of Asbestos in California. Prepared in cooperation with the California Geological. 2011.
- 13) Ian A. Bowles. Draft Final Regulations and Policies. Bureau of Waste Site Cleanup. 2007.
- 14) Colorado Department of Public Health and Environment. Asbestos-Contaminated Soil. Guidance Document. 2007.

= ABSTRACT =

Risk Assessment of Asbestos in Soil and Ambient Air for Residents of Abandoned Asbestos Mines

kwang deok kim

Division of Environmental Health

Graduate School of

Public Health Yonsei University

(Directed by Professor Shin, Dong Chun, M.D, Ph D)

This Study analyzed the characteristics of distribution of asbestos in the ambient air and soil in the regions near abandoned asbestos mine first in order to analyze risk assessment arising from asbestos in the regions of abandoned asbestos mine, and the human exposure to asbestos and the risk of generation of cancer due to asbestos in association with the daily life pattern of the local residents were analyzed and assessed. On the basis of the results of this analysis, this Study aimed to establish policy means of prevention in advance and efficient management in order to protect health of the local residents in the case of regions of abandoned asbestos mines with high risk due to

asbestos.

Regions among those with abandoned asbestos mines with high level of asbestos mining activities in the past and regions of abandoned mine with high content of asbestos in the soil in accordance with the investigations made by the Ministry of Environment from 2010 to 2012 were selected as the areas targeted for intensive analysis.

As the results of examination of the asbestos pollution in the target regions, the asbestos contents in the soil for each of the separation distances from the mines were analyzed to have no significant changes. Moreover, the results of concentration analysis results in the air around the soil displayed higher concentration of asbestos in the residential areas and farming areas rather than in the mining areas, thereby illustrating that the significance in accordance with the distance is not that high. As the result of analysis of asbestos concentration in the atmosphere through daily life activity scenario (ABS), there was difference in accordance with the characteristics of the site and the concentration of asbestos in the ambient air under daily life environment with high possibility of dispersion of asbestos such as sweeping of the yard.

As the result of analysis of factors that makes contribution towards inhalation hazard to which the daily life activity scenario has been applied, the median value of total inhalation hazard of asbestos of adult

was 4.09×10^{-4} , and the median value of the total hazard as the measure of the level of hazard for inhalation of asbestos through exposure to asbestos during the elementary school years of children (7~12 years old) was 8.98×10^{-6} . In the case of adults, the ratio that exceeded the rate of 1 person per 10,000 people was 99.4%, and, in the case of children, 24.0% of the population that was exposed to asbestos was found to have rate of carcinogenic risk exceeding 1 per 10 million people, thereby having potential risk factors.

As the result of key exposure format and factor analysis, daily life style with high possibility of scattering such as sweeping of yard was found to act as the key factors that makes contribution towards risk assessment, and, in the analysis of sensitivity, duration and frequency of exposures associated with sweeping of yard, riding motorcycle and weeding activities in the rice paddies were found to be the key exposure format and exposure coefficient that imparks influence on the risks. Comparison of rate of contribution towards hazard for each of the detailed daily life activities illustrates that, in the case of adults, sweeping of yard has 62%, leisure and daily life activities in the residential area has 19%, riding motorcycle has 5%, walking has 3%, and other farming activities have approximately 2% contribution towards the risks.

In the case of abandoned asbestos mine regions and naturally

occurring asbestos regions in USA, emergency measures and preventive measures are being implemented by categorizing them into the roles of the government and individuals. Assertive actions that can block out the source of pollution such as reinforcing and dampening of the soil surface, and planting of trees and vegetation, and methods of managing actions that causes scattering of asbestos such as soil works are being established and implemented. As the same time, regularly scheduled monitoring is executed in order to protect the health of the residents.

In the case of Korea, the government needs to establish assertive measures to manage the scattered asbestos. There is a need to continuously carry on with the paving of the unpaved roads in the corresponding regions, and regularly scheduled health impact survey must be executed for the residents in the corresponding regions. In the case of regions with high contents of asbestos in the soil, there is a need to carry out purification treatment of polluted soil and it is deemed appropriate to carry out comprehensive precision examination on these regions again.

Key word: Closed asbestos mine, Daily life activity scenario,
Evaluation of hazard