

《原著》

석면 비산 장비를 이용한 토양 중 석면 비산 특성 및 위해성 평가

김인자 · 김정욱 · 류현식 · 정명채*

세종대학교 에너지자원공학과

Friable Test and Risk Assessment for Asbestos in Soils using the Releasable Asbestos Sampler (RAS)

In Ja Kim · Jeong-Wook Kim · Hyun Sik Ryu · Myung Chae Jung*

Department of Energy and Mineral Resources Engineering, Sejong University

ABSTRACT

The objective of this study is to examine a releasable asbestos sampler developed for measuring friable asbestos from soil to air controlled by wind velocity and water contents. Asbestos contaminated soil with 3.75% at the Sinsuk-asbestos mine was sampled, air-dried and sieved to 100 mesh, then homogenized during 24 hours' agitation. Various wind velocities, 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s, and 5 m/s, were applied to evaluate releasable characteristics of the releasable asbestos sampler. In addition, soils with 1.0%, 3.4%, 4.4%, 11.0%, 16.2%, and 20.0% of water contents were also examined the amount of friable asbestos by the releasable asbestos sampler. Collected soil and air samples were analyzed by polarized light microscopy (PLM) and phase contrast microscopy (PCM), respectively. Those contents were applied to calculate an excess life cancer risk (ELCR). This study also discussed the relationship with risk assessment by a weeding scenario of activity based sampling (ABS) and field applied releasable asbestos sampler. The result was shown that friability of asbestos in soil increased with wind velocity and decreased with water content. In comparison with ELCR results, over 10E-4 of cancer risk was found in condition on < 5% water content and > 3m/s wind velocity.

Key words : Asbestos, Releasable asbestos sampler, Excess life cancer risk, Activity based sampling

1. 서 론

“석면(asbestos)”이라 함은 석면상(asbestiform)으로 산출되는 규산염 광물로서, 사문석계열의 백석면(chrysotile), 각섬석계열의 갈석면(amosite), 청석면(crocidolite), 안소필라이트(anthophyllite) 석면, 투각섬석(tremolite) 석면, 양기석(actinolite) 석면 등 6가지 종류를 말한다(MOE, 2010a). 이러한 석면은 기계적 강도가 뛰어나고, 불연성, 단열성, 내구성, 절연성, 보온성이 좋아 지난 수세기동안 슬레이트를 비롯하여 석면시멘트제품, 천장재, 벽면재, 보온단열재 등 건축자재의 원료로 사용되었으며(Park et al., 1995), 1970년대까지 다양한 종류의 석면으로 약 3,000여 가지의 제품이 생산되었다. 하지만, 이후 석면에 대한 다양한 인체 위해성이 밝혀지면서(Doll, 1955; Becklake,

1976; Artvinii and Bais, 1979; Maclure, 1987; KOSHA, 2006; 2007) 이들의 사용을 억제하거나 금지하는 국가들이 많아졌다. 특히, 호흡기를 통해 장기간 석면에 노출되면 약 15~30년의 잠복기를 거쳐 폐암(Lung cancer)이나 석면폐증(Asbestosis), 악성중피종(Mesothelioma) 등의 질병을 유발하며, 폐암과 악성중피종은 저농도에서 일정시간 이상 노출되면 발생할 수 있는 질병으로 알려져 있다(Wagener et al., 1960). 이외에도 장관계의 암(Frumkin and Berlin, 1988)과 인후두암(Stell and McGill, 1975), 직장암, 췌장암, 유방암, 난소암, 부고환암 및 임파선암 등을 유발한다는 연구가 보고되었으며, 원형무기폐나 흉수 및 흉수막염 등의 질병을 일으키는 것으로 보고되고 있다(KOSHA, 2008).

최근에는 충남 홍성, 충북 제천 및 경기도 가평 지역

*Corresponding author : jmc65@sejong.ac.kr

원고접수일 : 2012. 8. 11 심사일 : 2012. 9. 15 게재승인일 : 2012. 9. 24
질의 및 토의 : 2012. 12. 31 까지

등 폐석면광산 주변 석면에 의한 환경문제가 제기되면서 석면에 대한 관심이 고조되었고 석면의 조사, 분석, 평가 및 정화(또는 최소화)에 대한 연구가 진행되고 있다(MOE, 2010a, 2010b, 2010c). 대표적으로 2009년에는 환경부에서 전국 20개 석면광산의 오염개연성 확인을 위한 개황조사를 수행하였으며, 충남 홍성군에 소재하는 광천광산과 보령시에 위치한 폐신석면광산을 시작으로 매년 2~3개소의 석면발생지역에 대한 정밀조사를 수행하고 있다.

한편, 석면은 토양에서 공기 중으로 방출된 석면섬유가 인간의 호흡기를 통해 흡입되었을 때 위해성이 나타나기 때문에 비산특성에 대한 연구가 매우 중요하며 석면오염도 조사에는 필히 공기 중으로 비산되는 석면의 위해성을 조사하여야 한다. 국외의 경우 토양 중 석면의 비산성 평가는 미국 및 영국 등에서 선도적으로 연구되고 있으며,

미국의 경우 활동근거시료채취(Activity Based Sampling, ABS)를 대체하기 위해 Releasable Asbestos Field Sampler (RAFS)를 제작하여 운영하고 있다. 특히, 영국의 보건안전청(The Health and Safety Executive, HSE)과 환경부(EA)에서는 석면이 비산될 수 있는 최악의 상황을 고려하여 인간이 호흡할 수 있는 석면의 양을 평가 하고 있다. 국내에서는 토양 중 석면 함유량이 0.25%~1.00% 미만인 경우, 활동근거시료채취를 이용한 위해성 평가를 수행하고 그 결과 위해도가 10E-4 이상인 경우 정화를 수행하도록 되어 있다(MOE, 2010a). 여기에서 활동근거시료채취는 다양한 시나리오를 이용하여 비교적 넓은 지역에 대한 개략적·총괄적 자료 획득을 통해 위해성을 평가할 수 있다. 하지만 우리나라에서는 필지별 오염토양의 정화물량을 산정하고 있기 때문에 활동근거시료채취를 이용한

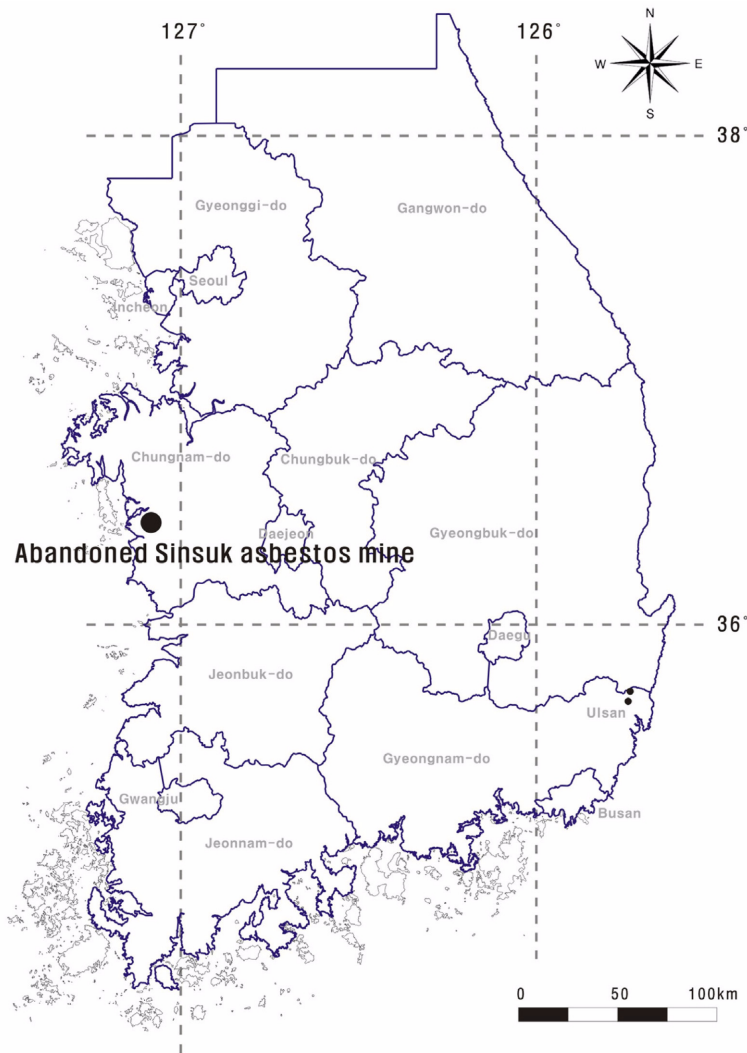


Fig. 1. Map showing the location of study area in Korea.

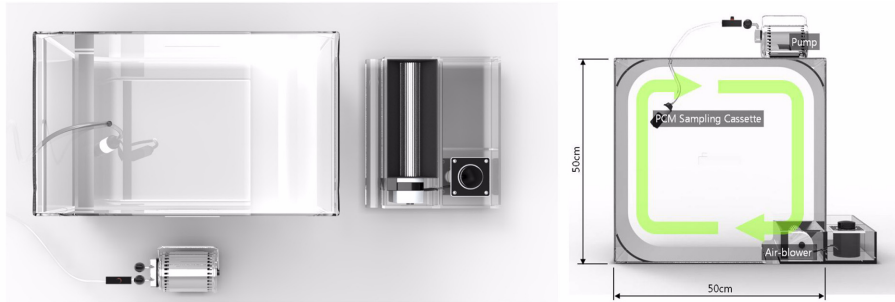


Fig. 2. The releasable asbestos sampler.

정화물량 산정에는 한계가 있다. 이러한 한계점을 보완하기 위하여 토양 중 석면 비산성 평가기법으로 현장에서 측정할 수 있는 장비개발이 필요하다(MOE, 2011).

이에 본 연구에서는 석면 비산성 장비를 제작하여 수분 함량과 풍속 등에 따른 토양 중 석면이 공기 중으로 비산되는 양을 평가하고자 하였으며, 이를 이용하여 위해성 평가를 수행하여 생애초과발암위해도를 산정하고자 하였다. 이러한 연구는 토양 중 석면의 위해성 평가에 기초 자료로 활용될 수 있을 뿐만 아니라 개별 필지의 정확 여부를 결정하는 판단의 근거로도 활용될 수 있다.

2. 연구지역

연구지역으로 선정된 충남 보령시 오천면에 위치한 폐신석면광산의 최초 광산명은 보령석면광산이었으며, 1975년부터 중앙석면광산으로 개칭되었고 1998년 이후에는 폐신석면광산으로 등록되었다(Fig. 1). 이 광산은 일제강점기부터 개광되어 소규모 간헐적인 작업이 이루어졌으며, 광산 활동 당시 투각섬석을 대상으로 약 26,965ton의 석면을 생산한 것으로 보고되고 있다(MOE, 2010b). 폐신석면광산의 경우 주로 노천채굴이 이루어졌으며, 현재는 광산 상층부에 광맥확인 등으로 활용된 확인갱 1개소가 남아있다. 연구지역을 포함한 충남 보령지역의 지질은 운모편암층(변성퇴적암류)과 이를 관입한 소규모 화강암질 암맥과 석영맥 등으로 구성되며, 조사지역의 서쪽에는 중생대 대동누층군이 분포한다. 운모편암층은 주로 견운모-녹니석편암, 흑운모편암, 흑운모 편마암, 흑색점판암과 백운암질 석회암 및 규암으로 구성되어 있다(Hwang et al., 2010).

폐신석면광산은 현재 채굴적이 저수지로 사용되고 있으며, 광산 채굴적 주변에서 여전히 농업활동이 진행 중에 있어 주민들의 건강을 위협하고 있다. 2010년 환경부에서 폐신석면광산 대상부지의 토양 내 석면 함유량 조

사를 위해 총 1,738개 지점, 2,301개(포토 1,736개, 중간토 414개, 심토151개) 시료를 채취·분석하였으며, 이중 배경토 12지점 18개의 시료를 제외한 토양시료 1,726개 지점, 2,283개 시료 중 703개 지점(40.7%), 843개(36.9%) 시료에서 석면이 검출되었으며, 0.25% 이상 석면이 검출된 시료는 271개 지점, 315개 시료이다. 최대함유량은 양기석 및 투각섬석이 각각 4.25%, 2.25%로 조사되었다(MOE, 2010b).

3. 연구방법

3.1. 석면 비산성 평가 장비

토양 중 석면이 공기 중으로 비산되는 양을 평가하기 위하여 Fig. 2와 같은 석면 비산성 장비를 제작(아크릴, W50 × H50 × D30 cm)하여 비산성 평가를 수행하였다. 장비는 크게 공기 중 석면을 포집할 수 있는 포집함과 바람을 수평으로 발생 시키는 송풍장치 및 시료 채취 펌프 등 크게 3개의 부분으로 구분된다. 특히, 포집함 내부는 바람이 회전할 수 있도록 각 모서리마다 곡선부(circular arc)를 설치하였다.

3.2. 시료채취 및 전처리

실험에 필요한 토양은 기존문헌조사 결과 토양 중 석면 함유량이 3.75%인 광산 주변 농경지를 대상으로 시료를 채취하였다. 채취된 시료는 자연건조 후 100 mesh 이하로 체가름하였으며 토양 중 석면의 균질화를 위하여 교반기(45 RPM)를 이용하여 24시간 동안 교반 후 실험 대상 시료로 사용하였다(Fig. 3).

3.3. 실험방법

교반기로 균질화 작업을 수행한 토양 시료 1,000 g을 대상으로 500 g은 토양 중 석면함유량 분석에 사용하였으며, 나머지 500 g은 비산성 실험에 사용하였다. 풍속에 따

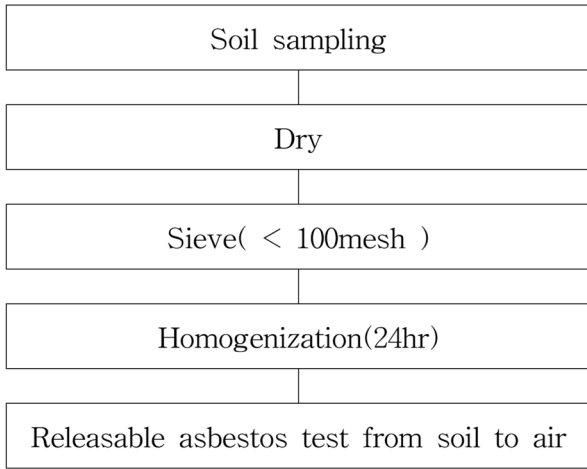


Fig. 3. Flowchart showing sample preparation.

른 석면 비산특성을 알아보기 위하여 풍속을 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s 및 5 m/s를 적용하였으며, 공기 중 시료 채취는 샘플링 펌프(Max 20 L/min)에 셀룰로오스 에스터(Mixed cellulose ester, MCE) 재질의 여과지(Φ25 mm)를 사용하여 포집함에 장착하여 채취하였다. 특히, 공기 중 시료 채취 유량은 0.5~16.0 L/min의 범위 내에서 결정하는데, 유량이 클 경우(16.0 L/min 이상) 입경이 큰 입자가 채취되어 계수 시 방해물질로 작용하거나 필터에 손상을 가져올 수 있다(KOSHA, 2009). 따라서, 본 연구에서는 “석면광산 등 석면발생지역의 토양환경 관리지침”에 따라 5.0 L/min으로 80분 동안 약 400 L 이상의 공기시료를 채취하였다. 또한, 함수율에 따른 비산특성을 알아보기 위하여 함수율을 인위적으로 1.0%, 3.4%, 4.4%, 11.0%, 16.2% 및 20.0%로 조정하고 풍속 3 m/s를 적용하여 실험을 수행하였다.

비산성 실험에 의한 공기 중 시료는 위상차현미경(Phase Contrast Microscopy, PCM)을 이용하여 분석하였으며, 토양 내 석면 함유량은 편광현미경(Polarized Light Microscopy, PLM)을 이용하여 분석하였다.

3.4. 위해성 평가

활동근거시료채취(Activity Based Sampling, ABS)는 토양 중 석면이 존재하는 지역 내에서 거주 또는 생활하고 있는 사람의 활동에 의해 토양이 교란되어 공기 중으로 비산된 석면을 측정하여 인체에 미치는 영향을 파악하는 측정방법이며(MOE, 2010a), 미국 등 선진외국에서도 이를 이용하여 인체위해성평가를 수행하고 있다. 특히, 캘리포니아 엘도라도(El Dorado) 카운티와 클리어 크릭 지역(CCMA) 등에서는 슈퍼펀드(Superfund) 기술 평가법에

의해 석면발생지역 주변에서 활동근거시료채취를 이용한 위해성 평가가 진행되고 있다(US EPA, 2005; 2008). 또한, 국내 지침에서는 토양 중 석면 함유량이 0.25~1.00% 미만인 경우, 활동근거시료채취를 이용한 위해성 평가를 수행하도록 명시하고 있다(MOE, 2010a).

한편, 석면과 관련된 생애초과발암위해도(Excess Lifetime Cancer Risk, ELCR)는 활동근거시료채취를 이용하여 산정할 수 있으며 기본 계산식은 다음 식 (1)과 같다. 특히, 조사대상 지역의 거주민을 대상으로 설문조사 및 면담 등을 통해 시나리오(scenario)가 작성되고 이러한 조사결과를 이용하여 시간가중치(Time Weight Factor, TWF)를 산정할 수 있다. 시간가중치에 대한 기본 계산식은 다음 식 (2)과 같다. 또한, 흡입단위위해도(Inhalation Unit Risk, IUR)는 미국환경청(US EPA)에서 사용되는 종합위해정보시스템(Integrated Risk Information System, IRIS)의 데이터를 이용하여 최초노출나이와 노출기간을 고려하여 결정된다.

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

$$ELCR = [(EPC_{Ambient} \times TWF_{Ambient}) + (EPC_{Abs} \times TWF_{Abs}) + (EPC_{Indoor} \times TWF_{Indoor})] \times IUR \quad (1)$$

- ELCR = Excess Lifetime Cancer Risk
- EPC = Exposure point Concentration, f/cc
- IUR = Inhalation Unit Risk, (f/cc)⁻¹
- TWF = Time Weight Factor

$$TWF = \frac{Exposure\ time(exposed\ hour/day)}{24} \times \frac{Exposure\ frequency(days/year)}{365} \quad (2)$$

이 연구에서는 생애초과발암위해도 계산을 위하여 활동근거시료채취에 의한 공기 중 석면농도 대신 비산성 실험 결과를 적용하여 위해성 평가를 수행하였다. 특히, 비산성 실험 결과의 적용을 위하여 활동근거시료채취의 다양한 시나리오 중 비산성 평가와 가장 유사한 감매기 시나리오의 시간가중치와 흡입단위위해도를 적용하였다. 또한, 실외 및 실내 공기 중 석면 농도는 고려하지 않았으며, 단지 비산성 실험에 의한 석면 농도를 적용하였다. 이는 보수적인 위해도 평가 결과가 도출될 수 있으나, 본 연구에서는 비산성 장비의 적용 가능성에 초점을 두고 있어 다음 식 (3)을 본 연구에서 기본 계산식으로 적용하였다.

$$ELCR = (EPC_{Abs} \times TWF_{Abs}) \times IUR \quad (3)$$

Table 1. Result of the asbestos contents in soils with wind velocity

Wind Velocity (m/s)	Water contents (%)	Asbestos in soil (% Tremolite)	Asbestos in air (f/cc)
1	0.8	8.75	0.054
2	1.0	5.50	0.034
3	1.0	4.00	0.188
5	1.0	4.25	0.341

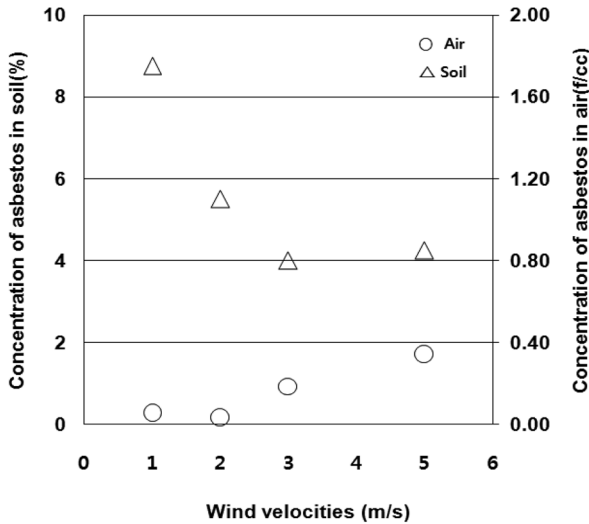


Fig. 4. Relationship between the asbestos contents in soil and air with wind velocity.

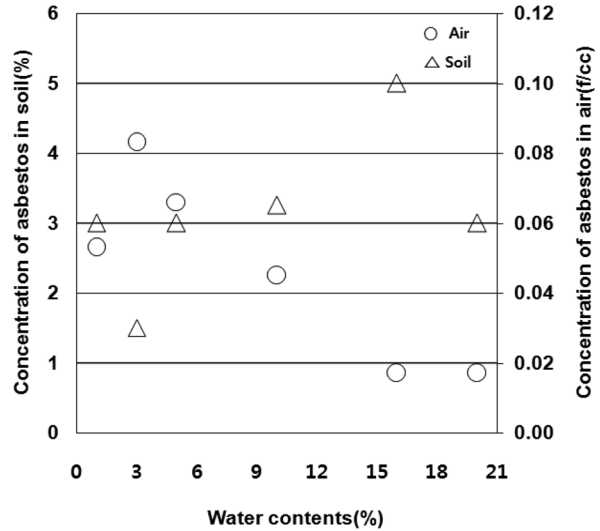


Fig. 5. Relationship between the asbestos contents in soil and air with water contents.

4. 결과 및 고찰

4.1. 풍속에 따른 비산성 실험결과

비산성 실험 대상 토양의 기존 연구에서는 3.75%로 기재되어 있었지만 이 연구에서 재분석한 결과 석면 함유량이 4.00%~8.75%의 범위를 보였다. 특히 석면과 같은 입자상 물질의 경우에는 균질화 작업에도 불구하고 토양의 불균질성에 의해 다양한 석면 함유량이 나타나는 것으로 판단되며, 균질화 작업에 의해 석면 다발의 분리됨으로써 더 높은 석면함유량을 나타내는 것으로 판단된다.

석면 비산성 평가 장비를 이용하여 풍속에 따른 실험결과, 토양 중 석면 함유량에 따라 다소 차이는 있으나 풍속이 증가함에 따라 공기 중 석면 농도가 증가하는 경향을 보이고 있으며, 모든 시료에서 실내공기질관리기준인 0.01 f/cc를 초과하는 것으로 평가되었다(Table 1, Fig. 4). 특히, S-3과 S-4의 경우 토양 중 석면함유량이 4.00%와 4.25%이고 함수율이 1.0%의 동일 조건에서 실험이 되었으나 풍속의 증가에 따라 공기 중 석면 농도가 약 2배 정도 차이가 나는 것으로 평가되었다.

4.2. 토양 함수율에 따른 비산성 실험결과

토양 함수율에 따른 비산성 실험 결과, 토양 중 석면 함유량은 1.50%~5.00%의 범위를 보이고 있으며, 비산된 석면 농도는 0.017 f/cc~0.083 f/cc의 범위로 검출되어 실내공기질관리기준인 0.01f/cc를 모두 초과하였다. 특히, 4.4% 이하의 낮은 함수율에서는 토양 중 석면 함유량과 비산된 공기 중 석면 농도와 상관성은 없는 것으로 평가되어 함수율이 약 5.0% 이하일 경우 외부환경에 의해 다양한 농도로 석면이 비산될 수 있음을 보여주고 있다. 또한, 11.0%~20.0%와 같이 함수율이 높아질수록 비산되는 석면의 양은 감소하는 특징을 보이고 있으며, 16.2% 이상에서는 제한적으로 석면이 비산되는 것으로 판단된다 (Table 2, Fig 5).

4.3. 위해성 평가결과

Table 3은 폐신석면광산 주변 거주민을 대상으로 수행된 설문조사 결과이며, 본 연구에서는 비산성 평가와 가장 유사한 활동근거시료채취의 김매기 시나리오를 적용하였다. 김매기 시나리오의 경우 노출시간은 3.0 hour/day이며, 노출빈도는 40.7 day/year로 초기 노출은 21세에서 50

Table 2. Result of the asbestos contents in soils with water contents

Wind Velocity (m/s)	Water contents (%)	Asbestos in soil (% Tremolite)	Asbestos in air (f/cc)
3	1.0	3.00	0.053
	3.4	1.50	0.083
	4.4	3.00	0.066
	11.0	3.25	0.045
	16.2	5.00	0.017
	20.0	3.00	0.017

Table 3. Estimation on time weight factor and inhalation unit risk for weeding scenario using releasable asbestos sampler

Scenario	Time Weight Factor (TWF)		Inhalation Unit Risk (IUR)		
	Exposure time (hour/day)	Exposure frequency (day/year)	Initial Exposure	Exposure Period	Inhalation Unit Exposure Factor
Agriculture Weeding Adult	3.0	49.9	21	50	0.083

Table 4. Estimation on Excess Lifetime Cancer Risk (ELCR) for weeding scenario using releasable asbestos sampler

ID	Wind velocity (m/sec)	Soil humidity (%)	Asbestos in soil (%)	Asbestos in air (fiber/)	ELCR
S-1	1	0.8	8.75	0.054	7.7E-05
S-2	2	1.0	5.50	0.034	4.8E-05
S-3	3	1.0	4.00	0.188	2.7E-04
S-4	5	1.0	4.25	0.341	4.8E-04
S-5	3	1.0	3.00	0.053	7.5E-05
S-6		3.4	1.50	0.083	1.2E-04
S-7		4.4	3.00	0.066	9.4E-05
S-8		11.0	3.25	0.045	6.4E-05
S-9		16.2	5.00	0.017	2.4E-05
S-10		20.0	3.00	0.017	2.4E-05

년간 노출이 지속되는 것으로 조사되어 흡입단위위해도는 0.083으로 계산되었다.

김매기 시나리오에 비산성 실험 결과를 적용하여 생애 초과발암위해도를 산정한 결과 미국 환경보호국에서 규정하고 있는 발암위해도 허용 범위(10E-4~10E-6) 이내로 평가되었다(Table. 4). 다만, 풍속이 3 m/s 이상이며, 함수율이 5.0% 이내인 S-3, S-4, S-6 및 S-7에서 높은 위해도를 보이고 있으며, 풍속이 2 m/s 이하인 경우와 함수율이 11.0% 이상인 경우 낮은 위해도를 보이고 있다(Table 4).

5. 결 론

최근 석면 노출로 인한 피해가 증가하면서 인간 건강에 대한 주요한 문제로 부각되고 있다. 특히, 석면광산의 경우 석면 개발 후 광해방지사업이 적절히 이루어지지 않아 남아있는 석면들이 광산 인근 지역으로 날리거나 유입되

어 인근 주민들의 건강을 위협하고 있다. 따라서 본 연구에서는 활동근거시료채취를 대체할 수 있는 비산성 장비를 제작하여 토양 중 석면이 공기 중으로 비산되는 양을 풍속별(1 m/s, 2 m/s, 3 m/s 및 5 m/s), 토양 함수율별(1.0%, 3.4%, 4.4%, 11.0%, 16.2% 및 20.0%)로 평가하고자 하였으며, 비산성 평가와 가장 유사한 활동근거시료 채취 시나리오 중 김매기 시나리오의 시간가중치와 흡입 단위위해도를 이용하여 생애초과발암위해도를 산정하였다. 비산성 실험에 필요한 시료는 충남 보령시에 위치한 폐신 석석면광산 주변 농경지의 토양을 채취하여 사용하였다.

풍속에 따른 비산성 실험결과 토양 중 공기로 비산되는 석면 함유량은 토양의 석면 함유량에 따라 다소 차이는 있으나 풍속이 증가함에 따라 공기 중 석면 농도가 증가하는 경향을 보였으며, 이는 토양 중 석면이 풍속의 증가로 더욱 활발하게 비산됨을 나타낸다. 또한, 토양 중 함수율에 따른 비산성 실험결과 5.0% 이하의 낮은 함수율에

서는 토양 중 석면 함유량과 비산된 공기 중 석면 농도의 상관성은 없는 것으로 나타났으며, 함수율이 높아질수록 비산되는 석면의 양은 감소하였다. 따라서 토양 중 석면은 풍속이 증가하고 토양 함수율이 낮을수록 비산되는 석면의 양은 증가하는 것으로 판단된다.

비산성 실험 결과를 이용한 생애초과발암위해도도는 대부분 10E-4 ~ 10E-6의 범위에 값이 존재하였다. 특히, 3m/s 이상이며, 함수율이 5.0% 이내인 S-3, S-4, S-6 및 S-7에서 높은 위해도를 보였다. 따라서 비산성 평가 장비는 개별 필지에 대한 정확한 정보와 조사 시간 단축 및 일관성 있는 데이터 확보가 가능할 것으로 판단되며, 기존 자료를 이용하여 위해성 평가를 수행한 결과 비산성 평가는 활동근거자료채취의 대안으로서 가능성이 있다고 사료된다.

다만, 이 연구에서 개발된 석면 비산성 평가 장비는 활동근거자료채취방법 중 김매기 시나리오를 대체할 수 있는 소형으로 제작되었다. 향후 장비의 규모를 확대하여 다른 시나리오를 대체할 수 있는 장비의 개발이 필요하다.

사 사

이 연구는 한국환경산업기술원의 연구과제인 “토양·지하수오염방지기술개발사업(과제번호 : 172-111-015)”의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Artvinii, M. and Bais, Y.I., 1979, Malignant mesotheliomas in a small village in the Anatolian region of Turkey: an epidemiologic study, *J. Natl Cancer Inst.*, **63**(1), 17-22.
- Becklake, M.R., 1976, Asbestos-related diseases of the lung and other organs, Their epidemiology and implications for clinical practice, *Am Rev Respir Dis.*, **114**(1), 187-227.
- Doll, R., 1955, Mortality from lung cancer in asbestos workers, *Br J. Ind Med.*, **12**(2), 81-86.
- Frumkin, H. and Berlin, J., 1988, Asbestos exposure and gastrointestinal malignancy review and meta-analysis, *Am J. Ind Med.*, **14**(1), 79-95
- Park, J.I., Yoon, C.S., and Paik, N.W., A Study on Exposure Among Asbestos Textile Workers and Estimation of their Historical Exposures, *Korean ind. Hyg. Assoc. J.*, **5**(1) 16-35.
- Hwang, J.Y., Yoon, K.T., Oh, J.H., and Lee, H.M., 2010, Characteristics of Tremolite Asbestos from Abandoned Asbestos Mines in Boryeong Area, Chungnam, *J. Miner. Soc. Korea*, **23**(1), 73-84.
- KOSHA, 2006, Prevention of adverse health effects from asbestos exposure, Korea Occupational Safety & Health Agent, p. 218-235.
- KOSHA, 2007, Early diagnosis by Occupation and Future Asbestos Emissions Prediction through Thickening of the Pleura investigation of Workers Handling Asbestos, Korea Occupational Safety & Health Agent, 200 p.
- KOSHA, 2008, A Study on the Construction of Asbestos Map and A Survey for Asbestos in the Industrial Settings, Korea Occupational Safety & Health Agent, 216 p.
- KOSHA, 2009, Analysis of Asbestos Fiber Counting for Airborne Samples Using Phase Contrast Microscopy, Korea Occupational Safety & Health Agent, 151 p.
- Maclure M., 1987, Asbestos and renal adenocarcinoma: a case-control study, *Environ Res*, **42**(2), 353-361.
- MOE, 2010a, Guidance of Soil Environment on Asbestos Mines and Occurring Asbestos Areas, Ministry of Environment, Korea, 60 p.
- MOE, 2010b, Investigation of Asbestos contained soil and ground water near at the Abandoned asbestos Mines, Ministry of Environment, Korea, 449 p.
- MOE, 2010c, Investigation of Asbestos Contained soil and Ground water near at the Abandoned asbestos Mines, Ministry of Environment, Korea, 766 p.
- MOE, 2011, Standard Method of Soil Pollution Management on Naturally Occurring Asbestos Areas, Ministry of Environment, Korea, 169 p.
- Stell, P.M. and McGill, T., 1975, Exposure to asbestos and laryngeal carcinoma, *J. Laryngol Otol.*, **89**(5), 513-517.
- US EPA, 2005, El Dorado Hills Naturally Occurring Asbestos Multimedia Exposure Assessment El Dorado Hills, California. Preliminary Assessment and Site Inspection Report Interim Final, US EPA Region 9, 163 p.
- US EPA, 2008, Clear Creek Management Area asbestos exposure and human health risk assessment. US EPA Region 9, 160 p.
- Wagner, J.C., Sleggs, C.A., and Marchand, P., 1960, Diffuse Pleural mesothelioma and asbestos exposure in the North Western cape province, *Br J Ind Med.*, **17**(4), 260-271.
- <http://www.epa.gov/region9/toxic/noa/clearcreek/exposure.html>
- <http://www.epa.gov/region9/toxic/noa/eldorado/pdf/asbestosreport0505.pdf>