

우리나라 일부 석면광산 지역에서 ABS를 이용한 석면노출 및 위해성 평가

이준혁¹ · 김대종² · 최성원³ · 김현욱^{3,*}

¹현대제철 보건관리팀, ²경동대학교 안경광학과, ³가톨릭대학교 의과대학 예방의학교실

Asbestos Exposure and Risk Assessment by ABS(Activity Based Sampling) for Former Asbestos Mining Areas in Korea

Junhyeok Lee¹ · Daejong Kim² · Sungwon Choi³ · Hyunwook Kim^{3,*}

¹Hyundai Steel, Health Management Team, Dangjin

²Dept. of Ophthalmic Optics, Kyungdong University, Goseong

³Dept. of Prev. Med, College of Med, The Catholic University of Korea, Seoul, Korea

ABSTRACT

Objectives: The aim of this study was to investigate the exposure and risk assessment of residents near asbestos mines in Korea.

Methods: To assess asbestos types and airborne concentrations, air monitoring was performed in the neighborhoods of Kwangcheon (KC) and Sinsuk (SS) mines, which were leading South Korean mines in the past. In addition, activity-based-sampling (ABS) of residents' particular activities were conducted in order to estimate the Excess Lifetime Cancer Risks (ELCRs) for the residents.

Conclusions: The average concentration of airborne asbestos in KC was 0.0014 f/cc and 0.0015 f/cc by PCM and TEM, respectively. In SS it was equal at 0.0012 f/cc by PCM and TEM. No statistically significant difference was found in the average concentration of airborne asbestos between the two mines. The average asbestos concentration of ABS was 0.0048 f/cc (PCM) and 0.0042 f/cc (TEM) in KC, while it was 0.0137 f/cc (PCM) and 0.0125 f/cc (TEM) in SS. It was found that the average asbestos concentration of ABS in SS was statistically significantly higher than that of KC ($p < 0.01$). The results of ELCRs by scenario in KC showed that the scenarios of bicycle, car, weed control, weed whacking, child playing in the dirt, and physical training fell within 1×10^{-6} - 1×10^{-4} , which is the acceptable range of ELCR. The scenarios of motorcycle, walker, digging, and field sweeping, however, exceeded the acceptable range. In SS, only the scenario of car fell within the acceptable range, while all of the other scenarios exceeded the acceptable range.

Key words: asbestos concentration, activity based sampling, excess lifetime cancer risk.

I. 서 론

우리나라의 석면생산은 1930년 중반부터 시작하여 1944년에 4,815톤이 생산되었고, 해방당시 전국의 석면광산은 총 28개로 남한에는 충남 홍성과 충북 제천,

충주 등에서 16개의 광산이 있었으며, 대표적인 광산인 광천광산은 1984년 폐광될 때까지 총 145,000톤의 백석면을 생산하였다(Choi et al., 1998). 이렇듯 우리나라에서도 과거 석면이 채광되었던 사실과 다량의 석면을 수입하여 석면함유제품을 만들었던 사실

*Corresponding author: Hyunwook Kim, Tel: 02-2258-1237, E-mail: hwkim@catholic.ac.kr

Dept. of Prev. Med, College of Med, The Catholic University of Korea, 505, Banpo-Dong, Seocho-gu, Seoul 137-701

Received: August 6, 2014, Revised: March 13, 2015, Accepted: March 17, 2015

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

(NLRI, 1984), 그리고 석면 관련 규정이 미비하여 석면에 대한 관리를 제대로 하지 못한 점 등을 감안한다면, 석면을 채광 하였거나 자연적으로 존재하는 석면으로 인한 건강상 영향이 우리나라에서도 나타날 위험이 상존한다고 볼 수 있다(Metintas et al., 2002; Lou et al., 2003).

국내에서 실시된 충남 광천지역 폐광산 주변 인근 마을의 주변 농도를 측정분석한 결과 17.6 f/L로 나타났다. 광산 주변 거주자 215명에 대해 흉부 X-선 촬영결과 110명(51.2%)이 석면관련 질환이 의심되어 이 중 광천 지역의 39명, 보령지역의 56명에 대해서 컴퓨터 단층촬영을 실시하였다. 그 결과 광천지역의 석면폐증과 흉막반 이상은 각각 15명(38.4%), 33명(84.6%)이었으며, 보령지역의 석면폐증과 흉막반 이상은 각각 40명(71.4%), 54명(96.4%)으로 보령지역이 광천지역보다 높은 발병률을 보였다(Kim, 2009). 이는 두 지역 모두 석면광산이 존재하고 비슷한 직업군을 가지고 있어 직업적 활동이 비슷함에도 불구하고 석면 관련 질환의 발병률이 확연히 차이가 나는 것으로 보아 석면의 산출 유형이나 석면의 종류, 개인의 활동에 의한 환경성 노출의 차이로 인한 피해가 발생하였음을 추정할 수 있다. 이처럼 석면의 종류나 개인의 특정 활동에 의한 노출을 평가하기 위해서는 활동근거시료(Activity Based Sampling, ABS)채취가 수행될 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 우리나라에서 석면을 생산하였던 대표적인 광산인 광천과 보령지역을 대상으로 자연적으로 비산하는 대기 및 실내 농도와 사람들의 특정 활동에 의한 농도를 실측한 결과를 이용해 시간가중요소(Time Weight Factor, TWF)와 흡입단위 위해도(Inhalation Unit Risk, IUR)를 산정하여 특정 활동에 대한 위해도를 추정하고, 주민들의 활동에 근거한 활동근거시료를 수행하여 노출되는 석면을 정량화하여 두 지역 거주주민의 특정 활동에 대한 전생애초과발암위해도(Excess Lifetime Cancer Risk, ELCR)를 평가하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 폐석면광산인 충남 홍성의 광천광산, 충남 보령의 신석면광산을 대상으로 2009년 6월부터

2010년 4월까지 대기 중 모니터링을 수행하였다. 위해성평가 시 ELCR 추정을 위해 사용되는 TWF와 IUR 산정은 광산을 중심으로 광천 4 km X 4 Km, 보령 2 km X 2 km 범위 내에 있는 마을에서 무작위로 선정된 주민 120명을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 또한 선정된 주민을 대상으로 활동근거시료 시나리오 설정을 위하여 인터뷰를 실시하였다.

2. 연구 방법

1) 예비조사

본 연구에서는 광산주변의 대기 중 모니터링과 활동근거시료 시료를 채취하기 위해 사전에 현장을 방문하여 시료채취 지점(경작지, 주거지, 공공용지 등)과 시나리오별 시료채취 경로를 선정하였다. 위해성평가 시 사용되는 활동근거시료 시나리오 설정과 ABS 시나리오에 따른 하루노출 시간(h/d), 1년 노출일 수(d/y), 최초노출 나이 및 노출기간을 조사하기 위해 120명을 대상으로 연구의 필요성과 연구 방법을 설명하고 동의를 얻어 설문조사를 실시하였다.

2) 석면노출평가

① 대기 중 시료채취

대기 중 시료채취는 광산의 중심에서 광천은 4 km x 4 km, 보령은 2 km x 2 km 지역에서 30개의 시료채취 지점을 선정하였고, 사계절 동안 각각 120개 시료를 채취하였다.

측정은 미국국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)의 공정시험법 7400, 7402에 따라 멤브레인 셀룰로오스 에스테르(Membrane Cellulose Ester, MCE) 필터(공극 0.8μm, 직경 25mm)가 내장되어 있고 50 mm 카울(cowl)이 장착된 카세트(Cassette)를 이용하였다. 지역시료 채취기(Ambient air sampler)의 유량은 약 9~10 L/min으로 하였으며, 시료채취는 지면에서 1~1.5 m 높이에서 채취하였고, 시료의 채취전과 후에 공기유량은 유량보정계(The Gilibrator, Gilian, USA)를 이용하여 보정하였다(NIOSH., 1994a; NIOSH., 1994b)

② 실내 공기 중 시료채취

실내 공기 중 시료채취는 광산의 중심에서 광천은 4 km x 4 km, 보령은 2 km x 2 km 지역 내 다중이용시

설이나 마을회관 등 공공이용시설을 대상으로 총 40개의 시료를 채취하였다. 실내 공기 중 석면 농도의 측정은 대기 중 시료채취와 같은 방법을 사용하였다.

③ ABS

ABS의 석면 농도 측정은 미국 환경보호국(United States Environmental Protection Agency, USEPA)에서 제시한 표준작업 절차(Standard Operating Procedure, SOP)에 따라 MCE 필터(공극 0.8 μm , 직경 25 mm)가 내장되어 있고 50 mm 카울이 장착된 카세트를 이용하여, 개인시료 채취기의 유량은 약 3.0 L/min으로 하였다.

개인시료 측정은 어른의 호흡기 영역(약 1.5 m)과 시나리오 특성에 따라 어린이 호흡기 영역(약 1.0 m)에서 시료를 포집하였고, 시료의 채취전과 후에 공기 유량을 유량 보정계를 이용하여 보정하였다.

광산지역 주민들의 설문조사와 인터뷰를 통하여, 토양교란 작업을 하는 시나리오를 선정하였고, 보령 지역의 경우 어린이 집과 학교 운동장이 존재하지 않아 어린이집 시나리오와 체육활동 시나리오는 광천지역에서만 실시하였다.

각각의 시나리오는 대상 지역의 지형, 토양내의 석면의 개연성, 주민활동 등을 고려하여 표준 작업 절차에 맞게 작성하였다.

④ 분석

대기 중 석면의 농도와 ABS 석면 농도는 위상차 현미경(Phase Contrast Microscopy, PCM)과 유사한 결과를 얻기 위해 섬유 길이 5 μm 이상, 길이 대 지름의 비가 3:1이상, 폭은 0.25 μm 이상 3 μm 이하의 섬유만을 계수하는 방법인 Phase Contrast Microscopy Equivalent(PCMe) Counting Method를 통해서 석면의 정성분석과 정량분석을 하였다.

석면의 정량분석과 정성분석은 국제 정도관리 프로그램(National Voluntary Laboratory Accreditation Program, NVLAP)에 참여하여 석면 분석의 정확도와 정밀도를 엄격하게 관리하고 있는 분석기관에 의뢰하여 실시하였다.

3) 개인의 특정 활동에 따른 위해성 평가

위해성 평가는 공기 중에 석면 농도가 특정 부지에서의 인간 수용체에 대한 심각한 위해성과 관련이

있는지를 결정하기 위해 사용하였다. ELCR를 계산하기 위해서는 특정 활동에 대한 공기 중 석면 섬유 농도(f/cc)와 시간가중지수, 흡입단위 위해도 등을 고려하였다.

① ELCR

미국 환경보호국에서 제시한 석면에 의한 위해성 평가 방법을 통해 특정 활동에 대한 노출농도(EPC), TWF 및 IUR을 산정하여 ELCR를 추정하였고, 다음 수식에 의해 계산된다.

$$\text{ELCR} = \text{EPC} \times \text{TWF} \times \text{IUR}$$

ELCR : Excess Lifetime Cancer Risk, the risk of developing cancer as a consequence of the site-related exposure

EPC : Exposure Point Concentration, the concentration of asbestos fibers in air(f/cc) for the specific activity being assessed

TWF : Time Weighting Factor, this factor accounts for less-than-continuous exposure during a one-year exposure

IUR : Inhalation Unit Risk(f/cc)⁻¹

② EPC

활동근거시료 시나리오에 따른 특정 활동에 의한 공기 중 석면섬유의 농도를 이용하였고, 발암위해도 평가를 위해 현재 미국 환경보호국에서 사용한 개체는 투과전자현미경(Transmission Electron Microscope, TEM)을 이용하여 측정된 PCMe 농도 cm² 당 섬유수를 적용하였다. 미국 환경보호국에서는 활동근거시료 분석결과가 불검출일 경우 검출한계의 1/2 쓰지 않고 '0'으로 평가하였고, 본 연구에서도 같은 방법으로 적용하였다.

③ TWF

본 연구에서 시나리오의 노출 활동이 발생할 수 있는 시간의 비율을 결정하기 위해 슈퍼펀드 위해성평가 기준 방법(EPA, 1989)을 참고하였고, 각각의 시나

Table 1. Time Weighting Factors(TWFs) for Exposure Scenarios.

Area	Exposure Scenario	Hours per day	Days per year	TWF*
Kwangcheon	Continuous	24	365	1
	Bicycle	1.4	219	0.0350
	Motorcycle	1.3	248	0.0368
	Car	1.2	243	0.0332
	Cultivator	2.7	91	0.0280
	Walk	2.0	347	0.0792
	Weed Control	3.9	40	0.0178
	Weed Whacking	2.1	60	0.0143
	Digging	4.0	42	0.0191
	Child Playing in the dirt	2.0	350	0.0799
	Physical Training	1.5	70	0.0119
	Field Sweep	1.0	178	0.0203
Boryeong	Bicycle	1.0	95	0.0108
	Motorcycle	1.0	72	0.0082
	Car	1.0	164	0.0187
	Cultivator	2.1	81	0.0194
	Walk	1.1	172	0.0215
	Weed Control	3.0	50	0.0171
	Weed Whacking	1.7	47	0.0136
	Digging	2.2	51	0.0091
	Child Playing in the dirt	-	-	-
	Physical Training	-	-	-
	Field Sweep	1.2	98	0.0134

* Time Weighting Factors

리오에 대해서는 마을주민들에게 설문조사를 진행하여 시간 비율을 결정하였다. 이 결과를 이용하여 각각의 시나리오에 해당하는 노출활동 시간을 hours/day와 days/year를 정하였고(Table 1), 아래의 수식을 이용하여 시간가중지수를 적용하였다.

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

④ IUR

IUR은 미국 환경보호국에서 통상적으로 선호되고 있는 인체독성 데이터베이스인 종합위해정보시스템(Integrated Risk Information System, IRIS)을 참고하였으며(EPA, 1988), 시나리오에 따라 광산 인근마을

의 설문조사결과를 바탕으로 평가 대상인 석면의 최초 노출 시의 연령과 노출 기간을 고려하여 결정하였다(Table 3).

IRIS 데이터베이스는 지속적인 노출에 대한 IUR을 $0.23(f/cc)^{-1}$ 로 여러 가지 시나리오에 대한 IUR을 제시하고 있다(EPA, 1986; EPA, 1997)

4) 자료분석

수집된 자료는 SPSS 12.0을 이용하여 분석하였다. 대기 중 석면농도는 대수 정규 분포를 함에 따라 평균 섬유농도는 기하평균과 기하표준편차로 나타내었다. 분석은 공기 중 석면에 대하여 광천광산 지역과 보령 신석광산의 차이를 평가하고, 공기 중 농도와 ABS에 의한 농도의 차이와 활동근거지로 시나리오 간의 차이를 보기 위하여 one-way ANOVA와 Duncan분석을

수행하였다.

III. 연구결과

1. 지역별 일반적 특성

ELCR을 추정을 위해 각각의 활동근거시료 시나리오의 시간가중요소인 하루노출 시간과 1년 노출일수를 조사하였고, IUR 산정을 위해 각각의 활동근거시료 시나리오에 대한 최초노출 연령과 노출기간을 조사하였다(Table 1).

2. 지역에 따른 계절별 대기 중 석면 노출 농도

광천광산 지역과 신석석면광산이 존재하는 보령지역의 대기 중 석면 전체 기하평균 농도는 PCM, TEM 분석결과 모두 0.0013 f/cc이었다.

광천광산 지역의 대기 중 석면의 평균농도는 0.0014

f/cc(PCM), 0.0015 f/cc(TEM) 이었으며, 신석광산 지역의 대기 중 석면의 평균농도는 PCM, TEM 모두 0.0012 f/cc로 광천광산지역과 신석광산지역의 대기 중 석면 평균농도는 통계적으로 유의한 차이가 없었다(Table 2).

3. 지역별 특정 활동에 의한 석면 노출농도

광천의 광천광산 지역과 보령의 신석석면광산 지역에서 특정 활동에 의한 석면 노출 농도의 전체 기하평균은 0.0078 f/cc(PCM), 0.0070 f/cc(TEM)이었다.

광천광산 지역에서 특정 활동에 의한 석면의 평균농도는 0.0048 f/cc(PCM), 0.0042 f/cc(TEM)이었으며, 신석광산 지역에서 특정 활동에 의한 석면의 평균농도는 0.0137 f/cc(PCM), 0.0125 f/cc(TEM)이었다. 특정 활동에 의한 석면 평균농도는 신석광산 지역이 통계적으로 유의하게 높았다(Table 3).

Table 2. Inhalation Unit Risks(IURs) for Exposure Scenario

Area	Exposure Scenario	Age at first exposure(years)	Exposure Duration(years)	IUR (f/cc)-1
Kwangcheon	Continuous	0	lifetime	0.23
	Bicycle	28	23	0.048
	Motorcycle	40	21	0.025
	Car	20	9	0.025
	Cultivator	40	28	0.029
	Walk	16	46	0.1
	Weed Control	22	42	0.076
	Weed Whacking	49	17	0.013
	Digging	25	45	0.069
	Child Playing in the dirt	4	3	0.033
	Physical Training	8	8	0.062
	Field Sweep	20	20	0.019
Boryeong	Bicycle	44	25	0.02
	Motorcycle	49	23	0.02
	Car	44	18	0.017
	Cultivator	37	30	0.034
	Walk	24	46	0.072
	Weed Control	23	43	0.072
	Weed Whacking	42	21	0.025
	Digging	24	44	0.069
	Child Playing in the dirt	-	-	-
	Physical Training	-	-	-
	Field Sweep	26	42	0.063

Table 3. General characteristics for excess lifetime cancer risk estimation

Area	Exposure scenario	Hours per day(d/y)		Days per year(d/y)	Age at first exposure(years)	Exposure duration (years)
		N	Mean±S.D			
Kwangcheon	Bicycle	12	1.4±0.7	218.6±133.6	27.5±10.3	23.2±14.5
	Motorcycle	12	1.3±0.9	248.3±127.3	39.9±10.3	20.8±12.9
	Car	35	1.2±0.5	190.7±86.7	20.2±15.9	9.1±7.0
	Cultivator	17	2.7±1.5	91.3±106.3	40.4±13.5	27.6±11.5
	Walk	48	2.0±1.4	347.2±72.0	16.4±9.6	46.3±20.9
	Weed Control	50	3.9±1.6	40.3±20.1	22.4±14.0	41.5±20.6
	Weed Whacking	19	2.1±1.5	60.2±31.1	49.3±12.3	16.9±6.2
	Digging	38	4.0±1.5	41.8±14.9	25.2±14.6	45.4±17.5
	Child Playing in the dirt	-	-	-	-	-
	physical Training	22	1.5±0.5	70.0±0.0	8.4±2.0	8.6±2.0
	Field Sweep	42	1.0±0.0	178.3±123.3	20.4±11.9	46.8±19.6
Boryeong	Bicycle	13	1.0±0.0	94.6±45.6	43.8±22.8	24.9±20.8
	Motorcycle	9	1.0±0.0	72.2±37.7	48.9±17.1	22.8±16.0
	Car	8	1.0±0.0	163.8±78.9	44.0±18.3	17.5±11.5
	Cultivator	9	2.1±1.4	81.1±63.9	36.7±15.5	30.2±12.7
	Walk	49	1.1±0.3	171.7±82.9	24.3±18.9	45.6±18.4
	Weed Control	45	3.0±1.4	49.7±26.6	23.3±12.5	43.2±14.6
	Weed Whacking	27	1.7±1.3	47.0±22.1	41.8±14.4	21.0±7.9
	Digging	27	2.2±1.8	51.1±16.3	24.4±14.6	43.5±15.8
	Child Playing in the dirt	-	-	-	-	-
	physical Training	-	-	-	-	-
	Field Sweep	45	1.2±1.3	97.6±36.3	26.0±16.0	42.2±16.7

4. 지역에 따른 대기 중 석면 노출 농도

광천광산 지역의 대기 중 석면의 평균농도는 0.0014 f/cc(PCM), 0.0015 f/cc(TEM) 이었으며, 신석광산 지역의 대기 중 석면의 평균농도는 PCM, TEM 모두 0.0012 f/cc로 광천광산지역과 신석광산지역의 대기

중 석면 평균농도는 통계적으로 유의한 차이가 없었다(Table 4).

5. 지역별 특정 활동에 의한 석면 노출농도

광천의 광천광산 지역과 보령의 신석광산 지역

Table 4. Airborne asbestos fiber concentrations by season GM(GSD)*

Area	Number of samples	Asbestos fiber concentrations	
		PCM(f/cc)	TEM(f/cc)
Kwangcheon mine	110	0.0014(3.22)	0.0015(3.18)
Sinsuk mine	119	0.0012(2.40)	0.0012(2.39)
	229	0.0013(2.82)	0.0013(2.80)

* Values are given as the geometric mean with the geometric standard deviation given in parenthesis

Table 5. Activity based asbestos fiber concentrations by area GM(GSD)*

Area	Number of samples	Asbestos fiber concentrations	
		PCM(f/cc)	TEM(f/cc)
Kwangcheon mine	98	0.0049(3.29)	0.0042(3.18)
Sinsuk mine	83	0.0137(9.44)**	0.0125(9.53)**
Total	181	0.0078(6.20)	0.0070(6.19)

* Values are given as the geometric mean with the geometric standard deviation given in parenthesis

** P < 0.01

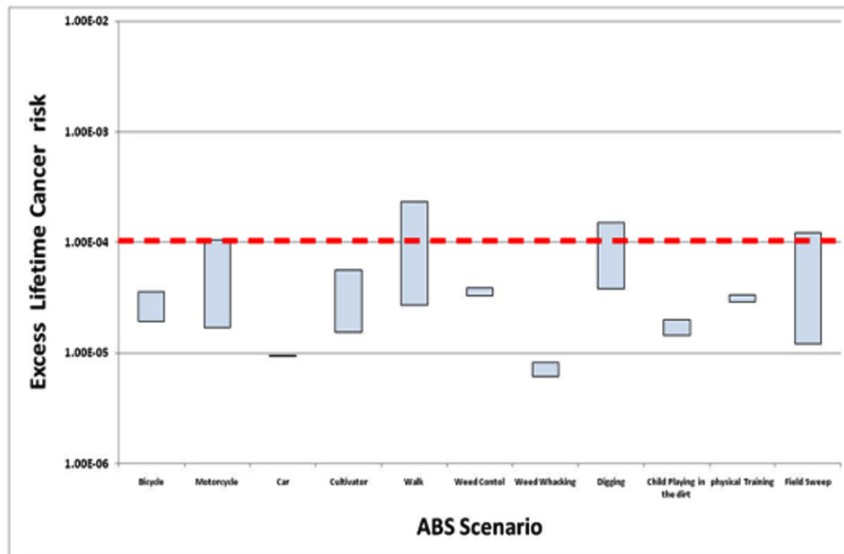


Figure 1. Estimation of cancer risk for scenarios 1-11 in Kwangcheon area: mean and 95% upper confidence limit

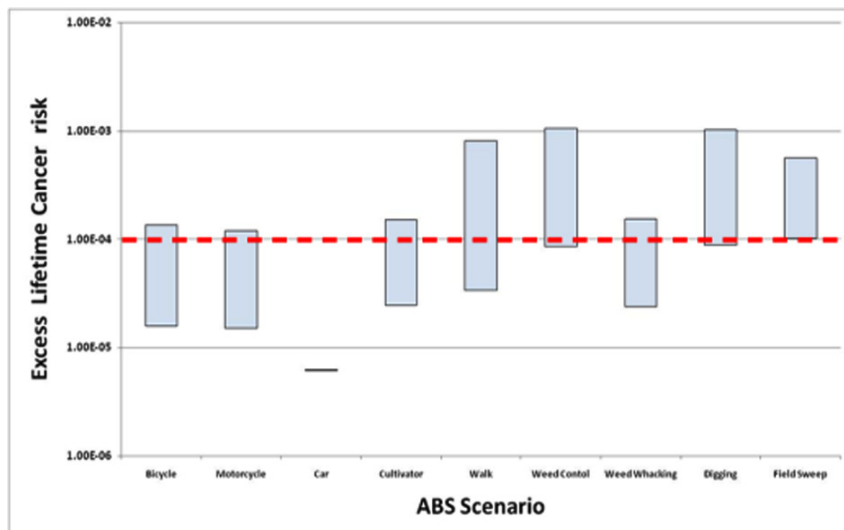


Figure 2. Estimation of cancer risk for scenarios 1-9 in Boryeong area: mean and 95% upper confidence limit

역에서 특정 활동에 의한 석면 노출 농도의 전체 기하평균은 0.0078 f/cc(PCM), 0.0070 f/cc(TEM)이었다.

광천광산 지역에서 특정 활동에 의한 석면의 평균 농도는 0.0048 f/cc(PCM), 0.0042 f/cc(TEM)이었으며, 신석광산 지역에서 특정 활동에 의한 석면의 평균 농도는 0.0137 f/cc(PCM), 0.0125 f/cc(TEM)이었다. 특정 활동에 의한 석면 평균농도는 신석광산 지역이 통계적으로 유의하게 높았다(Table 5).

6. 폐석면광산 지역에서 개인의 특정 활동에 따른 위험성 평가

1) 광천광산 지역 시나리오별 위험성 평가

광천광산지역의 특정 활동 시나리오에 따른 ELCR을 추정된 결과 교통수단 시나리오인 자전거, 자동차, 경운기의 위험도 값은 미국 환경보호국에서 권장하고 있는 발암위해도 허용 범위인 10^{-4} (1 in 10,000)에서 10^{-6} (1 in 1,000,000)에 값이 존재하며, 오토바이

와 도보의 경우 위해도의 95% UCL값이 각각 1.053×10^{-4} , 2.323×10^{-4} 으로 허용범위를 초과하였다. 농업활동 시나리오인 김매기, 계절작업의 경우는 허용범위 미만이며, 흙 파기 시나리오 경우 위해도의 95% 신뢰상한치 값이 1.50×10^{-4} 으로 허용범위를 초과하는 것으로 나왔다. 일상생활 활동 시나리오인 어린이집, 체육활동의 위해도 값은 허용 범위 내에 값이 존재하며, 마당쓸기 경우 위해도의 95% 신뢰상한치 값이 1.232×10^{-4} 허용범위를 초과하였다. 위해도 추정치 중 가장 높은 값은 도보 시나리오로 95% 신뢰상한치 값이 2.323×10^{-4} 이었고 가장 낮은 값은 차량 시나리오로 6.10×10^{-5} 였다(Figure 1).

2) 보령 신석광산 지역 시나리오별 위해성 평가

보령 신석광산지역의 특정 활동 시나리오에 따른 ELCR을 추정한 결과 교통수단 시나리오 중 자동차의 위해도 값만 미국 환경보호국에서 권장하고 있는 발암위해도 허용 범위인 10^{-4} (1 in 10,000)에서 10^{-6} (1 in 1,000,000)에 값이 존재하였으며, 자전거, 오토바이, 경운기, 도보의 경우 위해도의 95% 신뢰상한치 값이 각각 1.346×10^{-4} , 1.199×10^{-4} , 1.518×10^{-4} , 8.060×10^{-4} 으로 허용범위를 초과하였다. 농업활동 시나리오인 김매기, 계절작업, 흙 파기 경우 위해도의 95% 신뢰상한치 값은 각각 1.052×10^{-3} , 1.530×10^{-4} , 1.022×10^{-3} 으로 모두 허용범위를 초과하는 것으로 나타났다. 일상생활 활동 시나리오인 마당쓸기 경우 위해도의 평균값과 95% 신뢰상한치 값이 각각 1.021×10^{-4} , 5.648×10^{-4} 으로 허용범위를 초과하였다. 위해도 추정치 중 가장 높은 값은 김매기 시나리오로 95% 신뢰상한치 값이 1.052×10^{-3} 이었고 가장 낮은 값은 차량 시나리오로 6.220×10^{-5} 였다(Figure 2).

III. 고 찰

석면광산 인근주민의 건강문제 연구는 Wagner (1991)가 실시한 남아프리카공화국의 청석면 광산 주변에 대한 연구와 Hansen et al (1998)이 호주에서 실시한 연구에서 석면광산 인근주민의 환경성 노출에 의한 악성종양이 발생하는 등 세계 여러 나라에서 확인되고 있으며, 우리나라에서도 Kim (2009)의 연구에서 직업적으로 근무한 경력이 없음에도 불

구하고 석면광산 인근주민들에게서 석면관련 질환이 확인되었다.

본 연구는 우리나라에서 석면을 생산하였던 대표적인 광산인 광천의 광천광산과 보령의 신석광산을 대상으로 광산 주변 대기 모니터링을 실시하여, 석면 검출여부와 주민의 특정 활동에 근거한 활동근거시료를 채취하여 석면에 대한 활동별 ELCR을 추정하였다.

대기 중 석면농도를 광천광산과 신석광산 주변을 비교한 결과 광천광산은 0.0015 f/cc, 신석광산은 0.0012 f/cc로 광천광산 주변의 석면농도가 신석광산 주변의 농도보다 높게 나타났다.

광천광산은 석면 광산을 중심으로 반경 1 Km 이내의 지역에서의 대기 중 농도가 가장 심각한 것으로 나타났으며, 측정 당시 광산을 중심으로 하여 산림복구 작업이 행해지고 있었다. 특히 광산이 존재하는 산을 중심으로 갭구 입구가 존재하는 북갭구 및 남갭구 지역의 농도가 다른 시료채취 지점에 비해 높은 것으로 나타났다. 이는 과거 활발한 광산 활동에 의한 석면의 비산과 더불어 광산 활동 시 갭구 입구에서 지속적으로 흘러나온 침출에 의한 석면이 산림복구 작업에 의해 비산되어 확산된 것으로 판단된다.

신석광산의 경우 광산 갭구주위와 도로, 농경지의 대기 중에서 높은 농도로 석면이 검출되었다. 이는 환경부에서 실시한 신석석면광산 주변의 토양 정밀조사 연구결과 광산을 중심으로 500 m 이내 일부지역의 토양에서 1% 이상의 높은 농도의 석면이 검출되었고(ME, 2009), 반경 500 m 이내에서 도로공사가 진행되고 있어 이에 의한 영향을 받은 것으로 사료된다. 그리고 신석석면광산을 중심으로 반경 1 km 이내의 지역에 또 다른 석면광산인 대보광산의 갭구가 위치해 있고, 광천광산과 달리 반경 2 km 이내에 청소면 선광장 및 마강리 선광장 등 여러 지점에 선광장이 위치해 있어(KRC, 1981), 이들에 의한 영향 또한 받았던 것으로 판단된다.

외국의 경우 Camus et al (1998)의 연구에서는 캐나다 퀘벡 주 Thetford 백석면 광산에서 1905년부터 1954년까지 연평균 1 f/cc의 매우 높은 농도로 보고되었고, Sakai et al (2001)는 일본 아이치현의 사문암 노출이 있는 광산주변에서 채광활동 시 측정한 결과 백석면, 트레몰라이트의 농도가 0.38 f/cc이었고, 페

광시 광산 주변의 측정결과 농도는 0.012 f/cc로 조사되어 본 연구의 대기 중 농도보다 높게 나타났다.

본 연구에서 광천의 광천광산지역과 보령의 신석석면광산 지역에서 수행한 ABS 농도의 비교결과 신석석면광산에서 수행한 ABS 농도가 광천광산지역보다 높게 나타났다. 신석석면광산 지역의 경우 경작지 등의 표토에서도 다량의 석면덩어리가 발견되는 것으로 보아 시나리오에 따른 ABS 수행 시 해당 장소 토양의 석면 함유량 차이로 판단된다.

발암 물질의 허용위해도(Acceptable risk)는 백만명당 1명(1×10^{-6})의 초과 발암 위해수준으로 정하고 있으며, 일반적으로 산출된 초과 발암위해도가 허용위해도를 초과한다면 인체 발암 영향이 있을 것으로 평가되고 있다. 환경 관리 수준은 과학기술, 사회·경제적 조건들이 감안되어 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$ 의 초과 발암 위해 수준에 해당하는 농도에서 결정되고 있다.

광천광산 지역의 특정 활동 시나리오에 따른 전 ELCR을 추정한 결과 자전거, 자동차, 경운기, 김매기, 계절작업, 어린이집, 체육활동의 발암위해도는 미국 환경보호국에서 제공하는 권고기준(허용위해도)인 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$ 에 해당하였고, 오토바이, 도보, 흙 파기, 마당쓸기는 기준을 초과하였다.

보령 신석광산 지역의 경우는 자동차 시나리오만 기준(허용위해도)인 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$ 에 해당하였고, 나머지 시나리오들은 모두 기준을 초과하였다.

광천광산지역과 보령 신석석면광산 지역에서 조사한 ABS 시나리오에 따른 하루노출 시간(h/d), 1년 노출일 수(d/y), 최초노출 나이, 노출기간의 지역별 차이는 크지 않았으나, 지역별 시나리오에 대한 ABS 농도의 차이로 인해 발암위해도가 신석석면광산이 높은 것으로 판단된다.

Shin (2012)의 연구에서는 D광산의 경우 예초기 작업, 흙파기, 마당쓸기 시나리오의 경우, 위해도의 95% 신뢰상한치(UCL)값이 ELCR이 1×10^{-4} 을 초과하는 것으로 나타났으며, S광산의 경우 위해도 95% 신뢰상한치(UCL)값이 ELCR이 1×10^{-4} 을 초과하지 않아 본 연구결과와 차이를 보였다.

본 연구의 제한점으로 어떤 특정 활동에 의해 교란되었을 때, 공기 중에 석면의 농도는 해당 장소에 존재하는 석면의 양, 매트릭스상의 유출 가능성, 환경적 조건에 따라 지역별로 상이 할 수 있다. Addison et al (1998)과 EPA (2001, 2006)의 연구결과

에서도 환경조건이나, 토양의 특성, 석면의 접착성 및 교란활동의 성질 등과 같은 다양한 요인으로 결정된다고 하였다. 또한 위해성 평가의 제한점은 일부 지역 주민들을 대상으로 한 단면적 연구로서 대상군에 대한 표본수가 부족하였고 그에 따른 각 변수 간의 오차가 있을 수 있으므로 각각의 시나리오에 대해 실제 위해성보다 과대평가 되거나 과소평가 될 수 있다. 또한 몇 개의 시나리오는 단일시나리오를 대표할 수 있는 시료 수가 부족하였으며, 석면의 종류에 관계없이 단일위해도 평가를 하였다. 하지만 자연적인 석면에 주민들이 노출될 가능성이 있으므로 석면발생지역의 체계적인 관리가 필요할 것으로 사료된다.

IV. 결 론

본 연구는 광천의 광천광산과 보령의 신석광산을 대상으로 대기 모니터링 및 주민의 특정 활동 근거한 ABS를 실시하여 석면에 대한 활동별 ELCR을 추정하였다. 그 결과 두 광산 모두 활동근거시료에 따른 허용범위를 초과하는 시나리오가 발견됨에 따라 광산주변의 거주주민들이 토양을 교란하여 석면이 비산되어 노출될 수 있으므로 발생원인 석면을 제거하는 정화방법 등 석면의 노출을 줄일 수 있는 대책이 강구되어야 한다고 사료된다.

감사의 글

본 논문은 2009년도 한국환경관리공단의 연구비 지원을 받아 수행된 것으로 이에 감사를 드립니다.

References

- Addison J, Davies, LST, Robertson A, Willey RJ. The release of dispersed asbestos fibres from soils. Edinburgh: Institute of Occupational Medicine. 1998
- Camus M, Siemiatycki J, Meek B. Nonoccupational exposure to chrysotile asbestos and the risk of lung cancer. New England Journal of Medicine 1998;338: 1565-1571
- Choi JK, Paek DM, Paik NW. The production, the use, the number of workers and exposure level of asbestos in

- korea. J Korean Soc Occup Environ Hyg 1998;8(2): 242-253
- EPA. Airborne asbestos health assessment update. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development. Washington DC. EPA/600/8-84/003F. June 1986. cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=35551.
- EPA. Integrated risk information system(IRIS) file for asbestos(0371). 1988 www.epa.gov/IRIS.
- EPA. Risk assessment guidance for superfund. volume I. Human Health Evaluation Manual (Part A). December 1989. www.epa.gov/oswer/riskassessment/rags3adt/.
- EPA. Exposure factors handbook, National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development. 1997 www.epa.gov/ncea/efh/.
- EPA. Amphibole mineral fibers in source materials in residential and commercial areas of libby pose an imminent and substantial endangerment to public health. Memorandum from Chris Weis to Paul Peronard. December 20, 2001. www.epa.gov/region8/superfund/libby/risksummary.html.
- EPA. El Dorado Hills, Naturally occurring asbestos multimedia exposure assessment. Preliminary Assessment and Site Inspection Report Interim Final. 2006 www.epa.gov/region09/toxic/noa/eldorado/intro1.html.
- Geological research. Korea Resources Corporation 1981
- Hansen J, de Klerk N H, Musk A W, Hobbs M S T. Environmental exposure to crocidolite and mesothelioma. American Journal Respiratory Critical Care Medicine 1998;157:69-75
- Kim hw. Basic study for health influence investigation by asbestos exposures of neighborhoods resident such as asbestos factories and a mine. National Institute of Environmental Research 2009
- Kim, H. R. Current situation of asbestos hazard and it's human impact. Condition and measure for former asbestos mines. The 30th Environmental health Forum, Seoul. 2009;15-37
- Lou S, Liu X, Mu S, Tsai SP, Wen CP. Asbestos related diseases from environmental exposure to crocidolite in Da-yao, China. I. Review of exposure and epidemiological data. Occup Environ Med 2003;60: 35-42
- Metintas S, Metintas M, Ucgun I, Oner U. Malignant mesothelioma due to environmental exposure to asbestos: follow-up of a Turkish cohort living in a rural area. Occup Environ Lung Dis 2002;122(6): 2224-2229
- Ministry of Environment(ME), Basic research for health impact assessment to asbestos exposure asbestos factories and mines surrounding residents. 2009
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Method 7400 Asbestos and other fiber by PCM. 1994a
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Method 7402 Asbestos by TEM. 1994b
- Sakia K, Hisanaga N, Kohyama N, Shibata E, Takeuchi Y. Airborne fiber concentration and size distribution of mineral fiber in area with serpentinite outcrops in aichi prefecture Japen. industrial health 2001;39: 132-140
- Scrutiny asbestos mine. Ministry of Environment 2010
- Shin, J. H. A Study on Risk Assessment and Management Plan of Abandoned Asbestos Mines in Korea. Department of Environmental Engineering, Graduate School, The University of Seoul. 2012
- The national labor research institute(NLRI), Survey report of working environment at several factories. 1984
- United States Environmental Protection Agency(USEPA), Standard Operating Procedures Activity Based Air Sampling for Asbestos. 2007
- Wagner, J. C. The discovery of the association between blue asbestos and mesotheliomas and the aftermath. British Journal Industrial Medicine 1991;48:399-403